

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматизації та управління в технічних системах**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.І. Ролік

«__»_____2019 р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
з напрямку підготовки 6. 050201 «Системна інженерія»
на тему: «Автоматизована система управління виробництвом паперу»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ІА-51
Куліш Дар'я Сергіївна

Керівник:

Доцент, к.т.н. Долина В.Г.

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студентка _____

Київ – 2019 рік

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Автоматизована система управління
виробництвом паперу»**

Київ – 2019 рік

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ	7
2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	8
3 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОГО ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ.....	9
3.1 Опис технологічного процесу.....	9
3.2 Опис технологічного устаткування.....	18
3.3 Принципи побудови системи.....	22
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ЇЇ КОМПОНЕНТІВ	25
4.1 Розробка структурної схеми системи.....	25
4.2 Розробка структурної схеми системи управління виробництвом паперу	26
4.3 Розробка структурної схеми підсистеми управління ділянкою сушіння паперового полотна.....	29
4.4 Розробка функціональної схеми автоматизованої системи управління ділянкою сушіння паперового полотна	30
5 ВИБІР ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ВСІЄЇ СИСТЕМИ.....	32
5.1 Вибір датчиків тиску	32
5.2 Вибір витратоміра.....	36
5.3 Вибір датчика рівня.....	43
5.4 Вибір датчика вологості та поверхневої щільності	44
5.5 Вибір контролера.....	46
6 МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.....	47

					ІА51.150БАК.005 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Куліш Д. С.			Автоматизована система управління виробництвом паперу. Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Долина В. Г.				Т	1	64
Т.Контр.						ФІОТ АУТС ІА-51		
Н. Контр.								
Затв.								

6.1 Моделювання системи	47
6.1 Аналіз об'єкта регулювання	51
6.3 Синтез САУ	57
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУ – автоматизована система управління;

АСУ ВП – автоматизована система управління виробництвом паперу;

АФЧХ – амплітудно-частото-фазова характеристика;

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор;

ПРМ – папероробна машина;

ПТК – програмно-технологічний комплекс;

САУ – система автоматичного управління.

.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Целюлозно-паперова промисловість в Україні є важливою галуззю економіки. Щороку показник споживання паперу на душу населення зростає, проте на сьогоднішній день є незначним у порівнянні з провідними у цій сфері країнами світу. Аналізуючи динаміку розвитку вітчизняних підприємств з виробництва паперу необхідно зазначити, що дана галузь перебуває в безперервному русі у напрямку вдосконалення підходів до функціонування та автоматизації виробництва.

З року в рік відбувається впровадження більш сучасних технологій та устаткування. Така модернізація проводиться задля утримання зайнятих позицій на зовнішньому та внутрішньому ринках і дозволяє не лише поліпшити якість продукції, що є безперечно найважливішим критерієм, але й дає можливість забезпечити більш високий рівень екологічної безпеки. Усі вищезазначені зрушення зумовлені досить високою конкуренцією між підприємствами даної галузі.

Папір – це матеріал, що складається в переважній більшості з рослинних волокон, які оброблені певним способом та з'єднані в тонкий лист. Крім рослинних волокон при виготовленні деяких видів паперу останнім часом частіше застосовують волокна, які мають синтетично-органічне походження, або ж мінеральні. Зокрема, він може містити клейкі речовини, барвники та мінеральні складові.

Сама технологія виготовлення паперу є досить складною. Окрім цього, комплексність виробництва та присутність фізико-хімічних реакцій ускладнюють управління підприємством целюлозно-паперової галузі промисловості. Тому вирішення ряду проблем, які виникають у процесі, за допомогою автоматизованої системи управління є актуальним.

Метою даного дипломного проекту є розробка автоматизованої системи управління виробництвом паперу, яка призначена для управління

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічним процесом з етапу розмелювання сухих напівфабрикатів до вивантаження готової продукції.

Автоматизована система управління повинна забезпечити перехід на більш високий якісний щабель виробництва, а саме гарантувати випуск високоякісного та конкурентоспроможного кінцевого продукту з найменшими затратами. Тобто вона має мінімізовувати витрати пари та різних хімічних речовин, що у свою чергу зробить продукт екологічно безпечним для користувачів.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

Розроблена система призначена для використання в управлінні технологічним процесом безпосереднього виготовлення паперу. А саме йде мова про етапи від розпуску сухих напівфабрикатів до отримання готового продукту без пост-обробки.

Система може бути задіяна на паперовій фабриці для виготовлення різних за складом видів паперу. Результати виробництва можуть далі бути передані на пост-обробку (для створення різноманіття за формою), а також на підприємства з виготовлення різноманітних виробів з паперу.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Автоматизована система управління виробництвом паперу (та зокрема її компоненти) повинна мати наступні технічні характеристики:

- діапазон вимірювання температури має охоплювати від 0 до +150°C;
- вимірювання концентрації для всього діапазону з похибкою $\pm 0,5$ %;
- похибка вимірювання температури: ± 0.5 %;
- похибка вимірювання витрати: ± 1 %;
- можлива напруга живлення для компонентів системи: +12 В, 220 В або ~380 В;
- інтерфейс зв'язку між блоками підсистем та центральним пунктом управління – RS-485.

Вимоги до САУ внутрішнього контуру вологості паперового полотна:

- час регулювання – до 2 с;
- час встановлення – до 5 с;
- перерегулювання – 0-25 %.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОГО ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ

На сучасному ринку представлена велика кількість різноманітних видів паперу (понад 800). Та не зважаючи на це технологія виготовлення для кожного з них подібна. Прийmemo за основу лінію виробництва паперу продуктивністю 1 тонна продукту щодоби. А також детально розглянемо технологічний процес виготовлення паперу та обладнання, яке використовується при цьому.

3.1 Опис технологічного процесу

Технологічний процес виробництва паперу є комплексним. Адже він складається з великої кількості технологічно складних процесів (рисунок 3.1), кожен з яких потребує спеціального устаткування та різноманіття сировини й хімічних речовин.

Розділимо усі процеси на три логічні етапи: підготовка сировини, безпосереднє виробництво паперу та пост-обробка отриманого паперу [1].

1) Підготовка сировини для виготовлення паперу

Перш ніж почати безпосереднє виробництво паперу, необхідно створити сировинні напівфабрикати: целюлозу та деревну масу. Кожен з цих компонентів може бути виготовлений як на окремому заводі відповідної спеціалізації, так і в окремому цеху одного підприємства (що зручно взяти для загальності опису процесу).

Після того, як заготовлена деревина потрапляє на підприємство, в першу чергу її розпилюють на баланси (відрізки певної довжини, зазвичай 1-1,25 м). Далі позбавляються від кори, адже вона у виробництві ніяк не використовується. Для цього баланси пропускають через спеціальні машини – корообдиральні. Потім очищена деревина розподіляється на два потоки: для целюлозного цеху та для виготовлення деревної маси у деревомасному цеху.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Баланси першого потоку у спеціальних рубильних машинах (у переважній більшості дискових млинах) перетворюється в тріску довжиною 15-18 мм і товщиною 2-5 мм, яка сортується і подається в ємність, розміщену над варильним котлом. На деяких підприємствах така ємність відсутня і тріска транспортується прямо в котел.

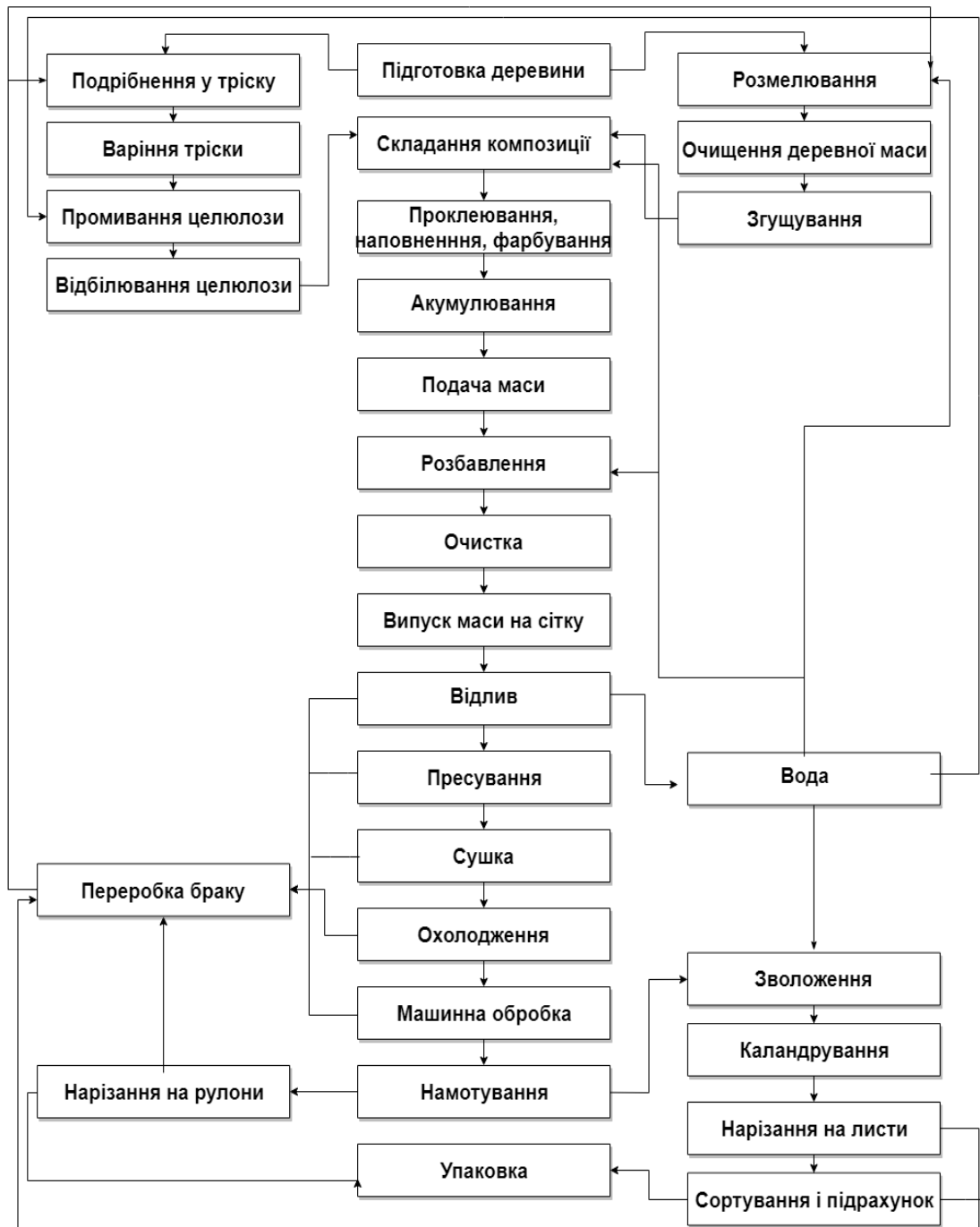


Рисунок 3.1 – Загальна технологічна схема виробництва паперу

Після завантаження тріски котел закривають, наповнюють його специфічними речовинами та подають пару [2]. В залежності від того, для виготовлення якого паперу буде використовуватись целюлоза, обирають один із двох способів хімічної обробки: сульфатний або сульфітний. Для отримання сульфатної целюлози варіння проводиться з додаванням сульфіду натрію. Для сульфітного способу хімічної обробки характерне використання кислоти, для виготовлення якої зазвичай використовують сіру або сірний колчедан, які піддають горінню в спеціальних печах. Варіння тріски відбувається 7-10 годин під дією високої температури (135-150°C) та великого тиску (6 атмосфер). Під час цього процесу домішки, які були в деревині, розчиняються і утворюється волокниста маса – целюлоза. Після варіння целюлоза разом із лугом вимиваються із котла водою або видувуються парою у спеціальний басейн із сітчастим дном. У ньому відбувається відокремлення цих речовин. Далі целюлоза промивається водою та на спеціальних машинах очищається від непроварених частин деревини, сортується та згущується. Потім відбувається відбілювання, якщо виробництво передбачає випуск найвищих сортів друкарського паперу. У ході цього процесу використовуються, як правило, один із трьох способів: з використанням кисню, з використанням озону або з використанням перекису водню. Після відбілювання целюлоза подається до басейну з помішувачами пристроями, якщо ця частина процесу територіально розташована на одному заводі. Якщо ж все-таки планується транспортування цього волокнистого матеріалу, то проводиться висушування та формування листів напівфабрикатів.

Другий потік очищеної деревини тим часом прямує до деревомасного цеху, основним обладнанням якого є дефібрери. Вони призначені для переробки балансів у деревну масу. Головною частиною даного виду устаткування є кварце-цементний або керамічний камінь, який приводиться у дію потужним електродвигуном. Над каменем розташовується шахта, в яку транспортуються баланси. Для кращого подрібнювання деревини на камінь

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подається вода, тому у ванну, яка розташована під каменем, надходить гаряча деревна маса (70-75°C), у якій рослинного волокна 1-3 % [3]. Потім речовина, яка утворилася, проходить через трісколовки та прокачується через сортувальниці для видалення неперетертої деревини і відокремлення масивних волокон. Для зменшення об'єму далі проводиться згущування до концентрації 5-6 % і в такому кінцевому вигляді деревна маса надходить до відокремленого басейну з помішуючими пристроями, якщо ця частина процесу територіально розташована на одному заводі. Якщо ж все-таки планується транспортування цього волокнистого матеріалу, то проводиться висушування та формування листів напівфабрикатів.

2) Безпосереднє виготовлення паперу

На даному етапі волокнисті матеріали можуть надходити в рідкому вигляді (для комплексного підприємства повного циклу). Проте у більшості випадків безпосереднє виробництво паперу територіально відокремлене і сировина надходить у вигляді сухих напівфабрикатів. Тому доречно розглядати технологічні складові цього етапу з процесу розпуску.

Для розпуску напівфабрикатів (що включають в себе не тільки вищезазначені целюлозу та деревну масу, а й оборотний брак та, на деяких підприємствах, макулатуру) використовують гідророзбивачі. Вони вирізняються високою продуктивністю, простотою конструкції та обслуговування. Під дією механічних та гідродинамічних сил сухі напівфабрикати перетворюються в масу, готову для розмолу і очистки від різнорідних включень.

Процес розмолу є визначальним для характеристик майбутнього паперу. Адже саме на цьому етапі волокнам надається пластичність та гнучкість, збільшується їх поверхня шляхом фібриляції та набухання, а також визначається ступінь контакту між ними, що впливає на міцність. Сучасні підприємства мають у своєму арсеналі для розмолу неперервно працююче устаткування двох типів: конічні та дискові млини. Також існує окремий апарат

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для оцінки ступеня помолу (вимірюється в градусах Шоппер-Рігlera) та довжини волокна (прилад Іванова). Як правило, розмол проходить у два етапи: спочатку на дискових млинах для розщеплення волокон вздовж осі, а потім на конічних – для скорочення. При чому кожен з напівфабрикатів проходить обробку окремо для отримання оптимальної якості кінцевого продукту. Концентрація маси при цьому спочатку 3,5-6 %, потім – 2,5-3,5 % [8]. Таким чином майбутній папір буде мати таку структуру: як каркас – довгі волокна, поміж якими знаходяться укорочені.

Паперову масу виготовляють в спеціальному регуляторі композиції, який дозує надходження на папероробну машину (ПРМ) необхідної кількості целюлози, деревної маси та додаткових хімічних речовин (клею, крохмалю, каоліну, крейди тощо). Саме тут відбуваються проклеювання, наповнювання та фарбування. Пропорції усіх компонент та типи додатково необхідних процесів визначаються в залежності від виду та передбачуваних властивостей паперу, який планується виготовити. Для етапу проклеювання частіше за все використовують каніфольний клей. Він впливає на властивості паперу таким чином:

- зменшує білизну, довговічність та механічну міцність;
- підвищує водостійкість, жорсткість, повітропроникність та прозорість.

Процес наповнення такими речовинами як тальк, каолін, крейда, гіпс застосовується для покращення друкарських властивостей та підвищення гладкості, м'якості, непрозорості. За допомогою барвників при фарбуванні паперу надають необхідного забарвлення та підвищують білизну. З регулятора композиції маса безперервним потоком подається у металічний басейн, де ретельно перемішується. Концентрація такої маси зазвичай дорівнює 3 %. Перед надходженням на машину знову необхідне розбавлення водою, яке відбувається в так званому змішувальному насосі, до концентрації 0,7-0,8 %. Вона підтримується за допомогою автоматичного регулятора концентрації. Далі паперова маса проходить останній етап очистки від сторонніх включень

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мінерального, металічного походження, а також від забруднень, які за щільністю майже не відрізняються від волокна, на центрискринах і подається на ПРМ.

ПРМ складається з п'яти основних послідовних частин:

- сіткової;
- пресу;
- сушильної;
- каландра;
- накату.

Спочатку паперова маса подається до натискного ящика, в якому знаходиться під тиском. З нього безперервним потоком з певною швидкістю через вузьку щілину подається на сіткову частину машини. Спочатку сітка, яку створюють бронзові нитки, підтримується в горизонтальному положенні за допомогою реєстрових валів. Ця частина приводиться в рух валом електродвигуна. На даному технологічному етапі паперова маса осідає на сітці, вода поступово відфільтровується та стікає. Таким чином формується вологе паперове полотно, яке містить 2-4 % волокон. Далі під сіткою розташовують так звані відсмоктувальні ящики, з яких за допомогою насосів відкачують повітря та створюють вакуум. Завдяки цьому з паперового полотна, яке проходить над ними видаляється ще більше води та концентрація волокон збільшується до 8-12 % [9]. На заключному етапі сіткової частини машини паперове полотно огинає порожнистий вал з багатьма отворами на поверхні – гауч. Він постійно обертається, але всередині містить нерухому відсмоктувальну камеру. Через отвори потужний вакуум-насос, який з'єднаний з камерою, забирає частину вологи полотна до концентрації 16-18 % волокон.

Наступна частина ПРМ – прес, який представляє собою декілька пар масивних валів, поміж якими пропускається паперове полотно. Нижні вали зазвичай покривають гумовою обкладинкою, а верхні виготовляють із граніту. Транспортером на цій ділянці є сукно (або спеціальна синтетична сітка).

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки йому паперове полотно переміщається від сіткової частини, а також від однієї пари валів до іншої. Видалення вологи відбувається механічним способом: верхній вал створює тиск на нижній, віджимаючи рідину з полотна. Вона у свою чергу вбирається в сукно, з якого потім вижимается й відсмоктується. Наприкінці пресування паперове полотно містить 30-35 % волокон.

Оскільки далі видаляти вологу механічним способом неможливо, наступний технологічний етап – сушіння. На призначеній для цього ділянці ПРМ встановлюється понад 50 обертальних циліндрів діаметрами 1,25-1,5 м, які нагріваються за допомогою пари. Кожен з них також огортається щільним сукном або сіткою. Частина вологи з паперового полотна випаровується під дією температури, адже воно знаходиться між нагрітим циліндром і сукном. Певний відсоток вологи вбирається самим сукном, яке потім осушується за допомогою спеціально призначених для цього циліндрів. Наприкінці сушіння паперове полотно містить 91-93 % волокон.

Після сушіння є великий ризик термодеструкції матеріалу, тому паперове полотно додатково проходить через 1-2 охолоджувальні циліндри. По закінченню процесів виготовлення поверхня створеного паперу є шорсткою. Тому для надання гладкості та підвищення щільності починається процес каландрування. Ця частина ПРМ складається з 2-8 валів, які розташовуються один над одним. Паперове полотно по черзі огинає кожен з валів, під тиском яких стає більш щільним та гладким. Сучасні ПРМ можуть містити каландри з механізмами притискання, підйому, полегшування валів. Що дозволяє більш якісно обробляти папір, збільшуючи тиск валів, але розподіляючи його рівномірно по ширині полотна.

Заклучна частина ПРМ – накат. Він представляє собою великий металічний циліндр діаметром 1,3-1,5 м, який приводиться в рух за допомогою електродвигуна. Після каландра папір безперервно намотується на тамбурний вал, який знаходиться над циліндром і повторює його обертальні рухи.

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) Пост-обробка отриманого паперу

Подальша обробка паперу проходить на поздовжньо-різальному верстаті для нарізання на рулони або ж на саморізках для нарізання на листи певного формату. Є декілька типів конструкцій кожного обладнання. Найпоширенішим у сучасному виробництві для нарізання на рулони став поздовжньо-різальний верстат з нижнім положенням заправки. Головною його перевагою є стаціонарне розміщення механізму нарізання. Тобто зменшення вірогідності переміщення лез вздовж осі, що у свою чергу унеможливорює накладання країв полотна, полегшуючи розділення рулонів між собою. Для нарізання паперового полотна на листи різних форматів існує два рішення: гільйотинні саморізки періодичної дії та ротаційні неперервної дії. Частіше використовується остання, адже має ряд переваг: ефективне використання часу роботи, швидкість, яку можна збільшувати у декілька разів. Формат листів паперу регулюється саме швидкістю обертання центральної частини – ножового барабану. У процесі нарізання необхідно слідкувати за дотриманням правильності розмірів заданого формату та рівністю нарізки.

Далі папір, нарізаний як на рулони, так і на листи, транспортується до лінії пакування. Послідовність дій, які виконуються при пакуванні, а також матеріал, тип та спосіб упаковки залежить від виду паперу, який надійшов та є бажаним кінцевим продуктом лінії виробництва.

Окрім основного технологічного циклу виробництва паперу, доцільно розглянути супроводжуючі процеси переробки відходів, що виникають під час роботи підприємства. А саме такі як: переробка браку, сухого і вологого, та використання оборотної води.

У загальному технологічному процесі виробництва паперу брак може виникнути на будь-якому етапі. Його кількість пов'язана зі станом устаткування, видом паперу, який виготовляється, кваліфікацією персоналу тощо. Проте навіть на новому, сучасному обладнанні не уникнути певного відсотка неякісного результату. Оборотний брак при виробництві паперу

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найчастіше виникає: при процесах на ПРМ (сухий та вологий брак), а також при обробці (каландруванні та нарізанні).

Переробка браку на підприємствах целюлозно-паперової галузі досить примітивна. Система прийому та переробки виявленого браку складається з двох установок: гауч-мішалки та гідророзбивача.

Гауч-мішалка встановлюється під сітковою частиною і пресом та призначена для первинної переробки вологого неякісного продукту. У ванну гауч-мішалки потрапляє полотно з сухістю до 28 %. Тому для переробки і видачі паперової маси з концентрацією 3 % використовується оборотна вода. З ванни гауч-мішалки брак потрапляє до згущувача, згодом – до басейну оборотного браку.

Гідророзбивач поміщається наприкінці частини сушіння, під каландром і накатом та взаємодіє з сухим браком. У більшості випадків він містить 2 насоси, активація яких залежить від режиму та типу браку (обрізок з станка або ж полотна з ПРМ). Оскільки концентрація вологи у сухому браку мінімальна, то перед запуском ПРМ, ванна гідророзбивача заповнюється на дві третини водою. Як тільки при переробці рівень маси у ванні є максимально допустимим, активізується насос, який перекачує її до басейну оборотного браку.

Перероблений оборотний брак використовується згодом в основному потоці виготовлення паперової маси. З накопичувального басейну він транспортується до тієї ділянки виробництва, де відбувається складання композиції.

Використання оборотної води є не менш важливою складовою виробництва паперу. Адже це дозволяє зменшити втрату волокна і по максимуму використати сировину. Оборотна вода в ході виробництва використовується у багатьох технологічно важливих процесах. Основна її складова – волога, яка відокремлюється в ході збільшення концентрації волокон у паперовому полотні. Тобто вода з етапу відливу паперової маси на

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПРМ, а саме з сіткової частини (відсмоктувальних ящиків, камери гауч-валу) та пресової частини (сукна) акумулюється в басейнах оборотної води. Цей ресурс потім використовується у наступному циклі для розпуску сировини, складання композиції, очистки та розбавлення браку.

3.2 Опис технологічного устаткування

У повному циклі виробництва паперу задіяна велика кількість різноманітного устаткування (рисунок 3.2) [2]. Проте з метою фінансової економії у більшості випадків целюлозний та деревомасний завод територіально відокремлені і до паперової фабрики транспортуються вже готові сухі напівфабрикати сировини. Тому детально устаткування доречно розглянути лише для безпосереднього виробництва паперу.

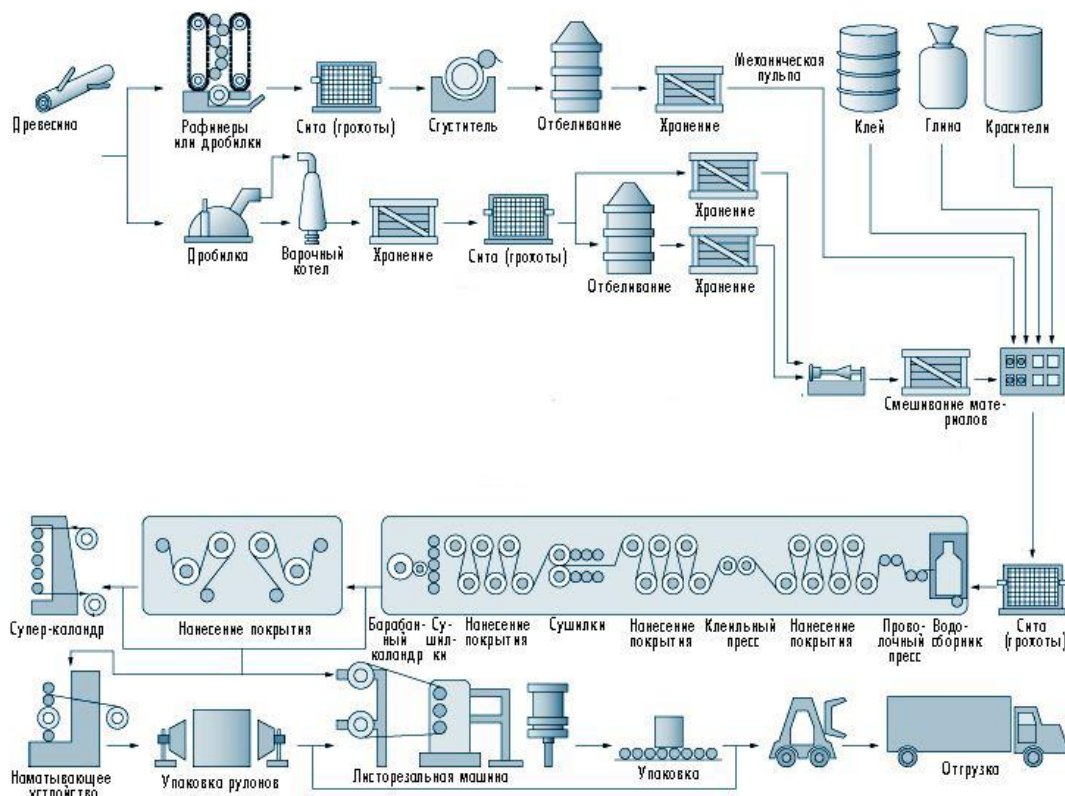


Рисунок 3.2 – Ілюстрація повного циклу процесу виробництва паперу з обладнанням, необхідним для його реалізації

Гідророзбивач ГРВм-16

Гідророзбивач застосовується на початковому етапі виробництва паперу для розпуску сировини. Раніше після нього для дорозпуску волокнистих матеріалів встановлювалося додаткове устаткування – фібратори. Проте в процесі модернізації було створено гідророзбивачі, які забезпечують повний розпуск сировини, яка використовується. В залежності від положення ротора їх поділяють на вертикальні та горизонтальні [5]. Вертикальний гідророзбивач ГРВм-16 складається з відкритої зверху циліндричної ванни зі сферичним дном та диску з ножами, який обертається по вертикальній осі від приводу. Ножі насаджені під деяким кутом до радіуса диска. Ідентичні до них також розташовуються в нерухомій частині дна ванни. Між рядами ножів розташоване металічне перфороване сито з отворами радіусом 6-8 мм, крізь яке волокниста маса безперервно відводиться з гідророзбивача до нижньої приймальної камери, яка трубопроводом з'єднана з переливним ящиком. Протягом роботи до ванни постійно подається вода та матеріал, який необхідно розпустити (напівфабрикати целюлози, деревної маси, макулатура та виробничий оборотний брак), а відводиться готова до розмолу маса. Даний гідророзбивач має ряд переваг:

- збільшення продуктивності в порівнянні з базовими моделями до 40%;
- можливість роботи в безперервному режимі розпуску і відбору маси й відходів;
- зниження ремонтних простоїв, за рахунок зміни приводної схеми;
- зниження витрат на експлуатацію, можливість зміни числа обертів.

Технічні характеристики гідророзбивача ГРВм-16 наведені у таблиці 3.1.

Дисковий млин Siebtechnik SB 200

Етап розмолу матеріалів для створення паперової маси потребує спеціального обладнання. На сучасних підприємствах для цього процесу використовуються дискові млини або конічні. Проте дискові млини мають ряд переваг: більш широка область використання, вдосконалені технічні аспекти

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи устаткування, здійснення розмолу при високій концентрації (майже без додавання води), внаслідок зниження гідродинамічних втрат при розмолі питома витрата електроенергії нижча на 15-25 %, зручність експлуатації та техобслуговування.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики гідророзбивача ГРВм-16

Продуктивність, т/добу	450- 1600
Місткість ванни, м ³	16
Діаметр ротора, мм	1050
Установлена потужність, кВт	160
Маса, кг	13130

Дисковий млин використовується для дроблення м'яких і твердих матеріалів з твердістю за шкалою Мооса до 8. Дроблення відбувається в результаті зрізаючого і стираючого навантаження між нерухомим і обертовим млиновими дисками [4]. Подрібнюваний продукт подається через отвір в нерухомому диску в центральну частину розмелювальної камери між обома дисками, де матеріал попередньо подрібнюється. У міру подрібнення продукт надходить у зовнішню область камери, де і відбувається тонкий помел. Кінцева крупність продукту визначається шириною зазору між робочими дисками.

Зазор між дисками можна регулювати без використання спеціальних інструментів. Ширина зазору вимірюється за допомогою спеціального шаблону через оглядовий отвір. Подрібнений матеріал надходить в контейнер, розташований під млиновими дисками. При безперервному режимі роботи машини, резервуар потрібно замінювати на спеціальний жолоб, що замовляється додатково.

Кришка млинового відсіку з закріпленням на ній нерухомим млиновим диском може відкидатися, що забезпечує простоту очищення і хорошу доступність млинової камери. В якості матеріалів для виготовлення млинових

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

дисків використовуються: сталеве лиття, окис цирконію або твердий метал (карбід вольфраму).

Технічні характеристики дискового млина Siebtechnik SB 200 наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики дискового млина Siebtechnik SB 200

Розміри (ШхВхГ)	400x430x825
Вага, кг	136
Двигун, кВт	1.5
Діаметр розмелювальних дисків, мм	200
Завантажувальна щілина, м	0,1-0,6
Продуктивність, кг/добу	200-1500

Натискний ящик Parcel

Натискний ящик використовується на етапі відливу паперового полотна. Він призначений для рівномірного напуску паперової маси на сітчасту частину ПРМ. Існує три типи натискних ящиків: відкритого типу, закритого типу та гідравлічний. Проте найбільш використовуваним у процесі виробництва паперу є гідравлічний через його універсальність. Адже він може функціонувати при будь-якій швидкості ПРМ якісно регулюючи напуск маси на сітку будь-якого типу. Натискний ящик Parcel є гідравлічним з розбавленням водою перед дифузором [11]. Основними частинами його є: гаситель пульсацій, які створюються на ділянках підготовки паперової маси, розподілювач потоку маси для вирівнювання напору по всій ширині ящика, індикатор потоку в розподілювачі, розподілювач оборотної води, дифузор, контроль потоку по краях ящика для регулювання однорідності, датчик тиску для виміру тиску маси перед напускаючим отвором, стійки для точної та надійної установки, нижня та верхня губа, які утворюють вихідний отвір, система обігріву для стабілізації з точки зору теплової деформації, прилади для руху губ в

горизонтальному і вертикальному напрямках. Ящик виготовлений із нержавіючої сталі, а окремі частини які безпосередньо взаємодіють з паперовою масою, електрохімічно відполіровані. Технічні характеристики натискного ящика Parcel наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики натискного ящика Parcel

Тип	Гідравлічний
Напруга, В	220/380
Потужність, кВт	5,5
Вага, кг	2000
Вхідна концентрація, %	1-1,5
Вихідна концентрація, %	0,5-0,8
Ширина струменю, мм	335
Габарити, м×м×м	2,6×5×1,6

Машинний каландр Parcel

Каландр – це устаткування, яке завершує машинну обробку паперу перед накатом. Він призначений для одностороннього або двостороннього згладжування поверхні кінцевого продукту. Машинний каландр Parcel складається з восьми горизонтально встановлених чавунних валів, які вільно розташовані один над одним. Нижній вал є привідний, інші – ведені. Тиск між ними регулюється спеціальними механізмами прижиму та підйому. Обробка паперу відбувається за рахунок тиску та тертя паперу між валами. Технічні характеристики машинного каландру Parcel наведені у таблиці 3.4.

3.3 Принципи побудови системи

Аналіз технології виготовлення паперу, огляд устаткування та існуючих рішень для організації подібного виробництва загалом, дозволили сформулювати

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

базові принципи для побудови власної системи. Для найбільшої ефективності управління елементами, що входять до складу системи, має бути узгодженим. Автоматизована система управління виробництвом паперу (АСУ ВП) повинна реалізовуватись з використанням мікропроцесорної техніки. Так як АСУ ВП розробляється виключно для процесів безпосереднього виробництва паперу (не включаючи виробництво напівфабрикатів та пост-обробку, тобто процес є локалізованим в одному приміщенні або в сусідніх), то управління і контроль має здійснюватися з центрального управляючого пристрою, а саме з пульта управління. При чому АСУ ВП містить ряд окремих підсистем, кожна з яких пов'язана з певною технологічною ділянкою.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики машинного каландру Parcel

Швидкість обертання, м/хв	1000
Напруга, В	220/380
Потужність, кВт	5
Лінійний тиск, кН/м	300
Ширина валу, м	5
Діаметр привідного валу, м	0,71
Діаметр веденого валу, мм	0,55
Габарити, м	1,2×5×4,5

Доцільно також ієрархічно структурувати АСУ ВП. До нижнього рівня варто віднести регулюючі органи, виконавчі механізми та вимірювальні перетворювачі промислових та спеціальних параметрів, фізичних величин, які необхідно контролювати в процесі виробництва [6]. До них належать:

- температура;
- тиск;
- рівень;
- коефіцієнт білизни паперу;

- витрата;
- концентрація;
- ступінь помолу;
- вологість;
- поверхнева щільність (маса 1м² паперового полотна).

До середнього рівня слід віднести прилади автоматизації для збору і обробки інформації, що надходить від обладнання нижнього рівня, а також пристрої перетворення сигналів управління та пристрої управління виконавчими механізмами.

Верхній рівень включає в себе робоче місце оператора (РМО) та прилади зв'язку й управління.

Для нормального функціонування АСУ ВП повинна бути забезпечена водопостачанням, безперебійним електроживленням та системою вентиляції.

Взаємодія між складовими системи має здійснюватися з використанням цифрових інтерфейсів, а також по каналах на фізичному рівні.

Загалом АСУТП ВП повинна забезпечувати :

- продуктивне функціонування технологічного обладнання з мінімізацією використання ручної праці персоналу в процесі виробництва;
- скорочення фінансових витрат у зв'язку з оптимізацією управління процесом виробництва;
- максимально можливу надійність автоматичного регулювання і управління процесом виробництва за допомогою використання новітньої елементної бази;
- відмову роботи обладнання в аварійних режимах;
- візуальне та звукове сповіщення про виникнення критичних ситуацій в процесі роботи.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ЇЇ КОМПОНЕНТІВ

4.1 Розробка структурної схеми системи

Оскільки виробництво паперу є комплексним та складається з великої кількості технологічних процесів, то для створення системи доцільно відокремити ділянки з однотипними процесами (рисунок 4.1).

Перша ділянка – це склад сировини. Адже для виготовлення паперу будуть використовуватись привезені сухі напівфабрикати. Сюди входять контейнери з листовою целюлозою та деревинною масою, а також баки з наповнювачами, клеєм та фарбами.

До ділянки розпуску сировини входить вертикальний гідророзбивач, мірник води та акумулюючі басейни для накопичення розпущених матеріалів, готових до розмолу.

До третьої ділянки входить насос для перекачування розпущеної сировини, дискові млини та конічні млини для розмолу окремо кожної компоненти у два етапи.

До ділянки складання композиції входять помішуючі басейни в яких акумулюються суспензії після розмолу, басейн оборотного браку, ємності з наповнювачем, клеєм та фарбами, змішувальний басейн з циркуляційним пристроєм та центрискрин для очистки він різнорідних включень та забруднень.

До наступної ділянки входить машинний басейн з помішуючими пристроями для накопичення готової паперової маси та гідравлічний натискний ящик для напуску паперової маси. Сюди ж входить сітковий стіл з бронзових ниток, реєстрові вали, відсмоктувальні ящики та гауч-вал та збірник оборотної води. До ділянки пресування паперового полотна входять чотири пари пресувальних валів, синтетична сітка для транспортування та басейн мокрого браку з гауч-мішалкою.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ділянка сушіння паперового полотна складається з двадцяти чотирьох обертальних валів поділених на три групи, шести синтетичних сіток, двох водовідділювачів, баку конденсату а теплообмінника.

До передостанньої ділянки входять каландр (з 8 валів), накат, тамбурний вал для намотування, басейн сухого браку та гідророзбивач.

До складу готового паперу надходять рулони виготовленого паперу. Там вони зберігаються до відвантаження та транспортування для пост-обробки (розрізання на рулони меншого розміру або на листи).

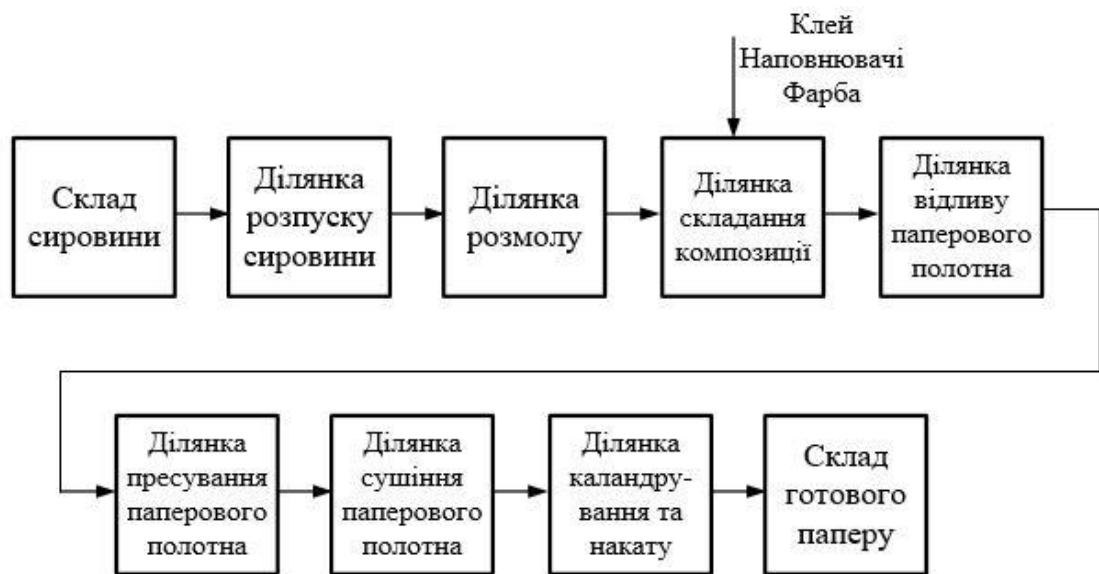


Рисунок 4.1 – Технологічні ділянки процесу виробництва паперу

4.2 Розробка структурної схеми системи управління виробництвом паперу

Для ефективності управління виробництвом паперу доцільно створити для кожної технологічної ділянки (окрім складів сировини та готового кінцевого продукту) окрему підсистему управління ділянкою. До складу АСУ ВП входить сім підсистем управління.

Підсистема управління ділянкою розпуску сировини включає в себе автоматизацію подачі сухих напівфабрикатів, їх розпуску у гідророзбивачі з подачею води та перекачування до акумулюючих басейнів. На цьому етапі

відбувається контролювання наступних параметрів: концентрація та середній рівень у ванні гідророзбивача, витрата сировини та її сухість, витрата води та її концентрація. Також важливими параметрами є швидкість обертання ротора та потужність його електроприводу.

Підсистема управління ділянкою розмолу автоматизує перекачування розпущених матеріалів до дискових млинів, а потім до конічних для двоетапного розмелювання до утворення суспензії. На даному етапі автоматизація відбувається за рахунок контролю управління потужністю електроприводів млинів, ступеню помолу волокнистої суспензії на виході та її концентрації на вході кожного виду млина.

Підсистема управління ділянкою складання композиції здійснює автоматизоване змішування компонентів для створення паперової маси у відповідності з заданими частками кожної складової, а також подальшу очистку її від різнорідних включень, забруднень та забезпечення однорідності розподілення наповнювачів, клею і фарб. Параметри, які підлягають контролю та регулюванню: витрата целюлози, витрата деревної маси, рівень паперової маси в змішувальному басейні, співвідношення витрати целюлози та деревинної маси, оборотного браку та деревинної маси, наповнювача та деревинної маси, фарби та деревинної маси, клею та деревинної маси, концентрація паперової маси на виході змішувального басейну.

Підсистема управління ділянкою відливу паперового полотна автоматизує натискний гідравлічний ящик та сіткову частину ПРМ. Цим забезпечує рівномірну подачу паперової маси на сітку (зі сталою швидкістю та розподіленням по всій ширині), а також заданий відсоток сухості полотна перед пресуванням. Здійснюється управління швидкістю ПРМ, частотою обертання насосу, тиском волокнистої маси перед напуском, рівнем суспензії в натискному ящику, положенням сітки та її натягом, розрідженням у відсмоктувальних ящиках, рівнем у збірнику оборотної води та контроль її рН для уникнення утворення піни в масі.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підсистема управління ділянкою пресування паперового полотна автоматизує роботу пресу ПРМ. Вона забезпечує підвищення ефективності видалення вологи з паперового полотна. Відбувається регулювання швидкості ПРМ, положення та натягу сітки, величини вакууму у відсмоктувальних ящиках. Важливими параметрами, які підлягають контролю є: лінійний тиск, швидкість машини, вологість та маса 1м² паперового полотна.

Підсистема управління ділянкою сушіння паперового полотна виконує автоматизацію сушильної частини ПРМ. Вона забезпечує отримання на виході паперового полотна оптимальної вологості та рівномірне її розподілення по всій площині. Здійснюється управління подачею пари до цієї ділянки та до кожної групи сушильних циліндрів, рівнем у двох водовідвідниках, збором конденсату в баці та його подачею до котельні. Параметри, які підлягають контролю та регулюванню: тиск, температура та витрата пари, яка подається в сушильні групи, перепади тиску між колекторами, рівень конденсату, вологість та маса 1 м² паперового полотна на виході.

Підсистема управління ділянкою каландрування та накату автоматизує завершальні етапи виготовлення паперу – обробку на машинному каландрі та змотування паперу в рулони за допомогою накату. Здійснюється управління швидкістю ПРМ, механізмами притиснення та підйому валів, гідророзбивачем сухого браку. Контролюються параметри якості паперу, діаметр та вага рулонів намотаного паперу, що дозволяє автоматично відвантажувати готову продукцію до складу.

Система управляється централізовано з робочого місця оператора за допомогою головного пульта управління. До складу кожної підсистеми входить локальний блок управління. Зв'язок між ними забезпечує шина даних, яка у свою чергу дозволяє розширити кількість компонентів системи у разі необхідності.

Структурна схема системи управління виробництвом паперу представлена у документі ІА51.150БАК.005 Е1

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Розробка структурної схеми підсистеми управління ділянкою сушіння паперового полотна

Ділянка сушіння паперового полотна складається з двадцяти чотирьох порожнистих циліндрів, до яких подається пара. Вони розбиваються на три групи. За допомогою даного поділу досягається можливість регулювання температури поверхні циліндрів і, отже, забезпечення необхідного режиму сушіння для конкретного виду паперу, який виробляється. Також це зменшує імовірність обриву полотна під час проходження між циліндрами.

На ділянці сушіння перш за все необхідно здійснювати контроль тиску та витрати загальної кількості пари, яка подається на процес сушіння. Для цього на головному трубопроводі встановлено датчики тиску та витрати. Останній у свою чергу вимірює не лише об'єм витраченої пари, а й температуру, контроль якої дозволяє дотримуватися температурного режиму сушіння. Необхідно забезпечити також певну величину тиску пари, яка подається на перші дві сушильні групи. Для цього використовуються регулюючі клапани, після них пара потрапляє до колекторів. Для контролю тиску, а значить і температури, для кожної сушильної передбачено датчик вимірювання тиску.

Після циліндрів щойно утворена паро-конденсатна суміш з двох сушильних груп потрапляє до першого водовідвідника. В ньому відбувається зниження тиску за рахунок різкого збільшення об'єму. В результаті цього паро-конденсатна суміш кипить та створює вторинний пар. Який подається в третю сушильну групу. Регулювання та контроль тиску вторинного пару здійснюється за допомогою регулюючого клапану та датчика тиску. Аналогічно паро-конденсатна суміш третьої групи потрапляє до другого водовіддільника, до якого також надходить конденсат з першого водовіддільника за рахунок різниці тисків. Регулювання рівня у водовіддільниках відбувається за рахунок регулюючих клапанів, а контроль – за допомогою гідростатичних датчиків тиску (рівня).

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перекачування конденсату з другого водовіддільника до баку конденсату відбувається за допомогою насосу, а вторинний пар з цієї ж ємності надходить спочатку в теплообмінник для перетворення в конденсат. З баку конденсату вода подається до котельні за допомогою насосу. Рівень у другому водовіддільнику регулюється за допомогою регулюючого клапану, а у баці конденсату – шляхом увімкнення та зупинки насосу.

На ділянці сушіння паперового полотна здійснюється також контроль та регулювання деяких якісних параметрів. Таким чином для вимірювання вологості паперу та поверхневої щільності після сушильних груп встановлено вимірювальний перетворювач вологості та маси.

Після виходу з останньої сушильної групи паперове полотно подається на каландрування. Взаємозв'язок між усіма структурними елементами здійснюється за допомогою блоку управління ділянкою сушіння паперового полотна.

Структурна схема системи управління ділянкою сушіння паперового полотна представлена у документі ІА51.150БАК.005 Е1.1.

4.4 Розробка функціональної схеми автоматизованої системи управління ділянкою сушіння паперового полотна

Центральною частиною системи управління ділянкою паперового полотна є блок управління. До нього відносяться модулі аналогового входу, модулі аналогового виходу, модулі дискретного входу та дискретного виходу, а також модуль центрального процесора. Важливою є також візуалізація інформації поточного стану елементів та підсистеми в цілому. Тому до центрального процесору підключено сенсорний дисплей, мультимедійні можливості якого дозволяють не лише виводити поточну інформацію системи, а й використовувати графічні зображення і відео в якості підказок.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для управління подачею пари в групі циліндрів необхідно вимірювати його тиск, температуру та витрату. Для цього використовуються вимірювальні перетворювачі тиску та витрати. Вбудовані в них перетворювачі на вихід подають уніфікований струмовий сигнал. Тому їх модулі напряду взаємодіють з модулями аналогового входу програмно-технічного комплексу (ПТК). Аналогічна ситуація і з датчиками рівня, які призначені для вимірювання рівня у водовідвідниках та баці конденсату. Також до аналогового входу надходять сигнали про положення позиціонерів клапанів.

Датчик вимірювання вологості та маси складається з первинного перетворювача та блоку обробки. Блок обробки здійснює вивід інформації за допомогою уніфікованого струмового сигналу до модуля аналогового входу.

Модуль аналогового виходу виконує цифро-аналогове перетворення цифрових величин контролера у вихідні аналогові сигнали. За допомогою них відбувається взаємодія з модулями підсилювачів клапанів. Вони у свою чергу перетворюють та підсилюють надіслані управляючі сигнали, призначені для клапанів.

Модуль дискретного входу дозволяє приймати та обробляти сигнали з модулів підсилювачів насосів та аварійних кнопок. За допомогою цієї взаємодії до контролеру надходять сигнали підтвердження ввімкнення/вимкнення насосів.

Модуль дискретного виходу взаємодіє з модулями підсилювачів насосів та світловими сигналізаторами, адже він призначений для управління магнітними пускачами, сигнальними лампами та релейною автоматикою.

Комунікаційний модуль слугує перетворювачем виходу мікроконтролера у рівні сигнали інтерфейсу RS-485 для зв'язку з центральним пультом управління та комунікації з іншими підсистемами.

Функціональна схема системи для управління ділянкою сушіння паперового полотна представлена в документі IA51.150БАК.005 E2.

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ВИБІР ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ВСІЄЇ СИСТЕМИ

При виборі промислових засобів автоматизації було враховано декілька факторів, а саме: технічні характеристики та область використання, доступність та ціна, похибка та діапазон вимірювання тощо [7]. Враховуючи специфіку попередньо розроблених структурних та функціональних схем системи, доцільно було обрати окремі елементи та вузли для підсистеми сушіння паперового полотна.

У ході технологічного процесу у цій підсистемі потрібно вимірювати такі основні параметри: надлишковий тиск в головному колекторі, а також в колекторах кожної сушильної групи, витрату пари, перепад тиску у водовідвідниках, рівень у водовідвідниках та в баці конденсату, вологість паперового полотна та його поверхневу щільність на виході.

5.1 Вибір датчиків тиску

У процесі виготовлення паперу, зокрема на ділянці сушіння паперового полотна, тиск є одним з визначальних параметрів, який впливає на якість технологічного процесу. До того ж обладнання, що діє у технологічній системі, проектується на певну припустиму величину тиску, перевищення якого може привести до аварійних ситуацій. Тому для якісного і безпечного управління технологічним процесом необхідно здійснювати безперервний автоматичний контроль тиску [14].

На ділянці сушіння паперового полотна необхідно вимірювати, контролювати та регулювати надлишковий тиск у колекторах та перепад тиску у водовідвідниках та баці конденсату.

Для вимірювання надлишкового тиску в головному колекторі та колекторах сушильних груп було обрано вимірювач-перетворювач надлишкового тиску Сапфір-22-ДИ-2110 (рисунок 5.1), оскільки його технічні характеристики

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

задовольняють вимоги системи. Також він є доступним за ціною, але на якість вимірювань це ніяк не впливає.



Рисунок 5.1 – Датчик тиску Сапфір-22-ДИ-2110

Сапфір-22-ДИ-2110 – вимірювач-перетворювач надлишкового тиску, стаціонарний прилад, який призначений для роботи в системах автоматичного управління, контролю та регулювання технологічними процесами. Він забезпечує безперервне вимірювання та перетворення вимірюваного тиску рідких та газоподібних нейтральних та агресивних середовищ в уніфікований струмовий вихідний сигнал для дистанційної передачі.

Вимірювальні перетворювачі Сапфір-22-ДИ-2110 у більшості випадків використовуються для роботи з вторинними і показуючими приладами з функціями регулювання та іншими пристроями автоматики, машинами централізованого контролю і системами управління, які працюють зі стандартним уніфікованим вихідним сигналом.

Переваги вимірювача-перетворювача надлишкового тиску Сапфір-22-ДИ-2110:

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- простота та надійність конструкції;
- відносно невеликі габарити;
- високий клас точності;
- можливість передачі токового сигналу на великі відстані без похибки і втрат;
- можливість установки у вибухонебезпечних зонах;
- можливість вимірювання параметрів агресивних середовищ;
- доступна ціна.

Принцип дії вимірювача-перетворювача надлишкового тиску Сапфір-22-ДИ-2110 заснований на використанні тензоефекту в напівпровідниковому матеріалі – тензорезисторі. Під дією вимірюваного надлишкового тиску змінюється ступінь напруженого стану вмонтованого тензорезистора. Його електричний опір змінюється пропорційно деформуючій силі. Сигнал тензодатчика перетворюється в електричний вихідний сигнал стандартного значення електронним пристроєм. В якості чутливого елементу у перетворювачів даної моделі використовується пластина монокристалного сапфіру з кремнієвими плівковими тензорезисторами, які пов'язані з вимірювальною мембраною.

Перетворювач складається з вимірювального блоку та електронного пристрою. В залежності від меж вимірювань використовуються різні тензомодулі вимірювальних блоків. Внутрішня порожнина обмежена сталлю гофрованою мембраною та заповнена кремній-органічною речовиною.

Вимірювальний перетворювач Сапфір-22-ДИ-2110 має вибухозахисне виконання, вид якого – поєднання «спеціального виду вибухозахисту» та «вибухонепроникна оболонка». Він може застосовуватись в вибухонебезпечних зонах приміщень.

Перетворювачі даної моделі також містять пристрій, який дозволяє переналаштовувати їх на будь-який діапазон вимірювань (який передбачено для моделі), а також переналаштовувати їх не на стандартний діапазон, а на

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зміщений, коли передбачається задання конкретного початкового значення вихідного сигналу. При випуску з виробництва стандартно налаштовується верхня межа діапазону, а нижня рівна нулю. Технічні характеристики датчика тиску Сапфір-22-ДИ-2110 наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики датчика тиску Сапфір-22-ДИ-2110

Верхня межа вимірювань, мПа	1,6
Вихідні сигнали постійного струму, мА	4-20
Маркування з вибухозахисту	вибухонепроникна оболонка
Вимірювальне середовище	рідина, пара, повітря, газ
Клас точності, %	0,1
Ступінь захисту від вологи та пилу	IP65
Напруга живлення для перетворювача, В	12...42
Навантажувальний опір, кОм	не більше 1
Споживана потужність перетворювача, ВА	не більше 1

Для вимірювання перепаду тиску пари у водовідвідниках та баці конденсату обрано вимірювач-перетворювач надлишкового тиску Сапфір-22-Вн-ДД-2420 (рисунок 5.2). Адже його технічні характеристики задовольняють головним вимогам системи, також він досить простий за конструкцією та монтажем, надійний та дешевший, ніж його аналоги з подібними характеристиками.

Датчики Сапфір-22-Вн-ДД-2420 призначені для безперервного вимірювання та пропорційного перетворювання значення різниці тиску рідких та газоподібних середовищ в уніфікований струмовий сигнал. Вони

використовуються в системах автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами [18].

Переваги вимірювача-перетворювача перепаду тиску Сапфір-22-Вн-ДД-2420:

- простота та надійність конструкції;
- високий клас точності;
- можливість установки у вибухонебезпечних зонах;
- можливість вимірювання параметрів агресивних середовищ;
- доступна ціна.



Рисунок 5.2 – Датчик тиску Сапфир-22-Вн-ДД-2420

Технічні характеристики датчика тиску Сапфір-22-Вн-ДД-2420 наведено в таблиці 5.2.

5.2 Вибір витратоміра

Вибір витратоміра для ділянки сушіння паперового полотна є надзвичайно важливим, адже однією з визначальних цілей автоматизації цієї ділянки є оптимальне використання пари. Тому необхідно звернути особливу увагу на похибку вимірювання та на вимірювальні параметри, адже при сушінні необхідно забезпечити певний температурний діапазон. Проте оскільки

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

датчиків вимірювання температури на цій ділянці не передбачається, то витратомір має вимірювати також температуру пари.

Було розглянуто три різні варіанти витратоміра: Метран-332 (країна-виробник Росія), Sitrans FX 300 (країна-виробник Німеччина), Onicon F-2600 (країна-виробник США).

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики датчика тиску Сапфір-22-Вн-ДД-2420

Верхня межа вимірювань, мПа	1,0,
Вихідні сигнали постійного струму, мА	4-20
Маркування з вибухозахисту	вибухонепроникна оболонка
Вимірювальне середовище	рідина, пара, повітря, газ
Клас точності, %	0,2
Ступінь захисту від вологи та пилу	IP65
Напруга живлення для перетворювача, В	12...42
Споживана потужність перетворювача, ВА	не більше 1
Навантажувальний опір, кОм	не більше 1
Габаритні розміри, мм	122×218×215

Витратомір Метран-322

Витратомір Метран-322 (рисунок 5.3) призначений для комерційного обліку насиченої і перегрітої пари температурою до 200°C у відкритих системах (без повернення конденсату) на об'єктах житлово-комунального господарства та промисловості. Він відноситься до вихрових витратомірів. Принцип роботи яких заснований на явищі Кармана. В потік пари, який проходить крізь витратомір, поміщується так зване тіло обтікання. Воно створює вихри, які розташовуються у два ряди. В одному такому ряді вони

обертаються за годинниковою стрілкою, в іншому – проти. Вихри створюють неоднорідність тиску в середовищі пари. Відстань між ними є стала величина і її можна виміряти. Після тіла обтікання розташовується датчик швидкості, який фіксує проходження вихру. Далі підраховується їх кількість за одиницю часу (частота) та обчислюється повний об'єм робочого середовища. Сенсор швидкості такого витратоміра містить п'єзоелектричний елемент для виміру частоти.

Лічильник пари Метран-322 складається з багатопараметричного датчика Метран-336 (первинний перетворювач для зняття показників) та мікрообчислювального пристрою Метран-334 (вторинний перетворювач для обробки даних).



Рисунок 5.3 – Витратомір Метран-322

Температурний діапазон середовища, з яким працює даний витратомір складає 80-200°C.

Максимальний тиск середовища, яке підлягає вимірюванню: 1,6 мПа.

Похибка вимірювання: 2,5 %.

Температурний діапазон середовища, в якому працює даний витратомір складає -45-50°C.

Температурний діапазон середовища, в якому працює електронний блок складає 5-50°C.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Параметри, які можливо виміряти: об'єм пари, теплова енергія.

Тип приєднання: прохідний.

Приєднання до трубопроводу: фланцеве.

Вихідний сигнал: RS-232, RS-485.

Матеріал: нержавіюча сталь.

Перевагами цієї моделі є доступна ціна та простота. Проте присутні недоліки, такі як занадто велика похибка вимірювань, яка не задовольняє вимогам системи та відсутність уніфікованого вихідного сигналу. Також за недолік можна вважати лише роздільне виконання первинного та вторинного перетворювачів, адже інколи доречніше використати цілісний витратомір.

Витратомір ONICON F-2600

Витратомір ONICON F-2600 (рисунок 5.4) має гнучку багатофункціональну архітектуру, що дає можливість з високою точністю вимірювати витрату різних середовищ. Застосування у витратомірі інноваційного двоконтурного моноблока (тіло обтікання / сенсор) дозволило значно збільшити чутливість датчика і розширити операційний діапазон. Крім того, така конструкція захищає датчик від динамічних ударів і твердих частинок в потоці а також вібраційних шумів.



Рисунок 5.4 – Витратомір ONICON F-2600

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У стандартному виконанні витратомір ONICON забезпечує вимірювання об'ємної витрати води при температурі до 260°C. Додавання вбудованого датчика температури дозволяє вимірювати масову витрату насиченої пари. Модель F-2600, забезпечена вбудованими датчиками температури і тиску, здатна також вимірювати масову витрату перегрітої пари. Витратоміри мають багатоканальні аналогові виходи для виведення інформації.

Основні технічні характеристики витратоміра ONICON F-2600 наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. –Технічні характеристики витратоміра ONICON F-2600

Діапазон вимірювання витрати пари, м3/год	4,31 – 14216
Температурний діапазон вимірюваного середовища, °C	-200 - 400
Максимальний тиск вимірюваного середовища, мПа	10,3
Похибка, %	1
Температурний діапазон навколишнього середовища, °C	-40 – 85
Параметри, які можливо виміряти	об'єм, теплова енергія, маса, температура
Виконання	інтегральне та розподілене
Вихідні сигнали, мА	струмові, 4-20 або частото-імпульсні
Захист від пилу та вологи	IP66
Матеріал	нержавіюча сталь

Особливості:

- вимірювання масової витрати одним пристроєм;
- можливість вимірювання перегрітої пари;

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- вбудований платиновий (RTD) датчик температури;
- не має рухомих частин;
- зносостійка моноблочна конструкція тіла обтікання / сенсора;
- модернізовані алгоритми обробки сигналів і придушення шумів;
- простота установки і експлуатації.

Переваги даної моделі: більшість технічних характеристик є максимально задовільними, простота установки та експлуатації, наявність уніфікованого вихідного сигналу, надійна конструкція. Проте дана модель є занадто дорогою та точність вимірювання є допустимою, але не найкращою для таких датчиків.

Витратомір Sitrans FX 300

Витратомір Sitrans FX 300 (рисунок 5.5) – це компактний витратомір з одинарним або подвійним вимірювальним перетворювачем, придатний для вимірювання промислової пари, газів, а також різного роду рідин. Наприклад: пара (насичена або перегріта), промислові гази (стиснене повітря, азот, розріджені гази, димові гази), рідини (демінералізована вода, розчинники тощо).



Рисунок 5.5 – Витратомір Sitrans FX 300

Витратомір Sitrans FX 300 забезпечує точне вимірювання нормальної об'ємної та масової витрати пари, газів і рідин у вигляді комплексного

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

вирішення з вбудованою компенсацією по температурі і тиску. За принципом роботи він також є вихровим.

Особливості :

- всі пристрої підтримують 2-х провідну технологію та HART-комунікацію;
- покази температури і витрати в одній точці;
- не виникає необхідність додаткового монтажу;
- пряме вимірювання енергії;
- інтелектуальна обробка сигналу;
- матеріал виконання стійкий до корозії, тиску та температури;

Основні технічні характеристики витратоміра Sitrans FX 300 наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4. – Основні технічні характеристики витратоміра Sitrans FX 300

Діапазон вимірювання витрати пари, м3/год	6,72 - 18372
Температурний діапазон вимірюваного середовища, °C	-40 - 240
Максимальний тиск вимірюваного середовища, мПа	10
Похибка, %	0,75
Температурний діапазон навколишнього середовища, °C	-40 – 85
Параметри, які можливо виміряти	об'єм, теплова енергія, маса, температура
Виконання	інтегральне та розподілене
Вихідні сигнали, мА	струмові, 4-20
Вибухозахист	є

Дана модель витратоміра має ряд переваг, адже повністю відповідає технічним характеристикам системи та має середньо доступну ціну.

Отже, спираючись на переваги та недоліки розглянутих витратомірів, було обрано для застосування Sitrans FX 300. Адже порівняно з ONICON F-2600, який теж задовольняю вимоги системи, він є доступнішим за ціною та має вищий клас точності. Витратомір Метран-322 є дешевшим, але має занадто велику похибку вимірювань та деякі невідповідності технічним характеристикам системи в цілому.

5.3 Вибір датчика рівня

Основна мета вимірювання рівня рідини пов'язана з визначенням кількості речовини у ємкості чи забезпеченням контролю за положенням рівня у виробничому апараті для підтримки матеріального балансу технологічного процесу [20].

У нашому випадку необхідно вимірювати рівень у закритих ємностях – водовідвідниках та баці конденсату. Для цього було обрано датчик гідростатичного тиску (рівня) МЕТРАН-150L (рисунок 5.6).



Рисунок 5.6 – Датчик рівня МЕТРАН-150L

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Рівнеміри МЕТРАН-150L використовуються у багатьох галузях промисловості, адже є надійними та якісними. Вони мають покращене значення приведеної похибки вимірювань та стабільність вимірювань. Рівнеміри МЕТРАН-150L призначені для вимірювання рівня рідин в закритих та відкритих ємностях у ході виробничих процесів.

Діапазон вимірювання: 32 – 1600 кПа.

Перетворювачі тиску МЕТРАН-150L випускаються з вихідним сигналом 4-20мА з протоколом HART. Датчик має програмовану характеристику вихідного сигналу у відповідності до функції перетворення вхідної величини: лінійну або за законом квадратного кореня.

Основна допустима похибка складає 0,075 %.

Датчики стійкі до дії атмосферного тиску від 84,0 до 106,7 кПа, до дії температури навколишнього середовища діапазону -40-80°C, а також до впливу відносної вологості 100 % при температурі 35°C та нижче з конденсацією вологи.

Ступінь захисту від пилу та води: IP66.

Перетворювачі тиску МЕТРАН-150L мають вбудований блок захисту від перехідних процесів у лінії зв'язку, які викликані ударом блискавки, а також є вибухозахищеними.

Електроживлення: 10,5-42,4 В.

Середній термін експлуатації: 12 років.

5.4 Вибір датчика вологості та поверхневої щільності

На ділянці сушіння паперового полотна необхідно здійснювати контроль за такими якісними характеристика паперу як вологість на виході з сушильних груп та поверхнева щільність (маса паперу 1м²). Звичайно, можна для кожного з критеріїв обрати окремий датчик. Проте з економічної точки зору доцільніше зупинитися на виборі датчика, який може вимірювати обидва параметри.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Провівши огляд існуючих на сучасному ринку датчиків, які підходять для поставленої задачі, було обрано безконтактний інфрачервоний датчик вологості та маси паперового і картонного полотна А331 від «АкварСистем» (рисунок 5.7) у зв'язку з універсальністю, відносно низькою вартістю та прийнятною похибкою вимірювання.

Інфрачервоний датчик вологості та маси паперового і картонного полотна А331 призначений для безперервного та безконтактного контролю вологості та поверхневої щільності листових матеріалів.

Принцип роботи датчика заснований інфрачервоному спектральному методі вимірювання. Пропускання паперового полотна на робочих довжинах хвиль (лінія поглинання води та целюлози) порівнюється з пропусканням на опорних довжинах хвиль, де поглинання інфрачервоного випромінювання водою та целюлозою майже відсутнє. По отриманим співвідношенням обчислюється вологість матеріалу.

У даній моделі датчика також закладена можливість одночасного контролю вологості та маси 1м^2 паперового або картонного полотна без використання радіоізотопного вимірювача щільності.



Рисунок 5.7 – Датчик вологості та маси А331

Датчик вологості та маси А331 може працювати як автономно, так і в якості інформаційно-вимірювальної частини регулятора вологості або маси.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевагою датчика є високе співвідношення сигнал/шум, так як матеріал, який контролюється, опромінюється потужним потоком інфрачервоного випромінювання, величина якого є значно більшою за фонову засвітку.

Виведення інформації про виміряні величини може здійснюватися трьома способами:

- світлодіодне цифрове табло;
- уніфікований струмовий сигнал (4-20 мА);
- цифровий інтерфейс (RS-232/ RS-485/ CAN).

Діапазон вимірювання вологості залежить від встановлених світлофільтрів та може сягати від 0 до 80 %.

Похибка залежить від діапазону вимірювання: 0,05 або 0,5 або 2 %.

Напруга живлення: 220 В.

Умови експлуатації: від -20 до 50°C, до 95 % вологості.

5.5 Вибір контролера

До складу АСУ ВП входить сім підсистем, що вказує на модульність розробленої системи. Тому у будь який момент може виникнути необхідність додавання ще однієї нової одиниці технологічного обладнання або підсистеми. Для реалізації цього розроблена система має бути гнучкою і без значних витрат адаптуватися до нововведень.

В якості контролера обрано програмований логічний контролер (ПЛК) Mitsubishi серії FX3U, адже він є дешевшим від аналогів з такими ж технічними характеристиками, а також його робота можлива і в складних виробничих умовах.

Даний ПЛК об'єднує центральний процесор, джерело живлення та пам'ять, для більшої функціональності додаються аналогові модулі вводу/виводу, дискретні модулі вводу/виводу та комунікаційний модуль для передачі інформації до робочого місця оператора та розширення системи.

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

6.1 Моделювання системи

Будь-яку систему в узагальненому випадку можна представити у вигляді «чорного ящика» (рисунок 6.1), що дає можливість показати дві її важливі характеристики, такі як цілісність та відокремленість. Дослідження за допомогою такого методу дає можливість виділити значимі вхідні та вихідні впливи, а також встановити причинно-наслідковий зв'язок між ними.



Рисунок 6.1 – Узагальнена модель системи у вигляді «чорного ящика»

Конкретизуємо входи, виходи та впливи навколишнього середовища для системи сушіння паперового полотна (яка є підсистемою у загальному процесі виробництва паперу).

Входи: властивості пари (кількість, тиск, температура), швидкість ПРМ, натяг сітки, початкова вологість та маса паперу на 1м².

Виходи: кінцева вологість паперового полотна.

Впливи навколишнього середовища: температура та тиск.

Для подальшого дослідження використано методологію структурного аналізу та проектування SADT (з візуалізацією IDEF0). Функціональна модель SADT відображає структуру процесів функціонування системи і її окремих

підсистем, тобто виконувані дії і зв'язки між ними [16]. IDEF0 – графічна мова моделювання для документування процесів виробництва і відображення інформації про використання ресурсів на кожному з етапів проектування систем [17].

Спочатку представлено систему сушіння паперового полотна у загальному вигляді (з точки зору основної її функції) за допомогою контекстної діаграми (рисунок 6.2), яка є смисловим еквівалентом моделі «чорного ящика».

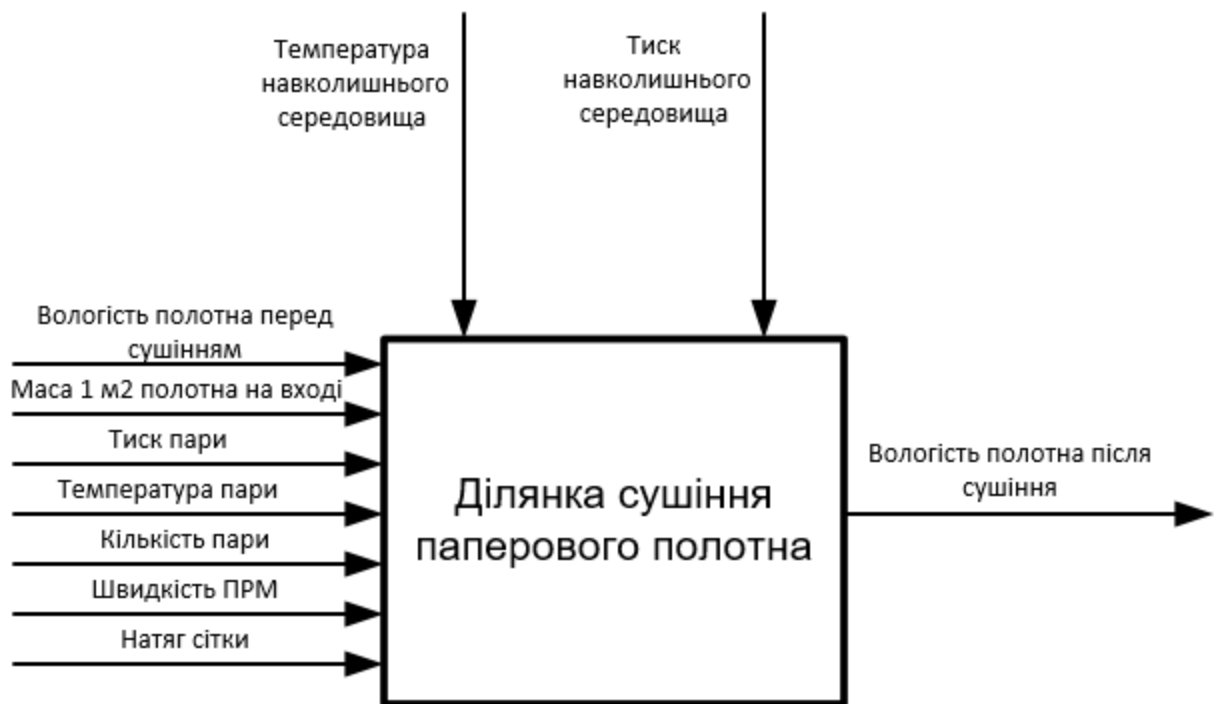


Рисунок 6.2 – Контекстна діаграма системи сушіння паперового полотна

Очевидно, що загального представлення системи недостатньо для виявлення внутрішніх взаємозв'язків, так як цілісність та відокремленість це лише зовнішні властивості. Тому для подальшого дослідження створено модель складу системи.

Модель складу системи відображає, які складові містить система. Частини системи, що складаються більш ніж з одного елемента, називаються підсистемами. Розподіл на підсистеми виявляє взаємозалежні елементи з

відносно відокремленими функціями-підцілями, які сприяють досягненню спільної мети системи.

Для системи сушіння паперового полотна модель складу містить наступні підсистеми:

- підсистема сушильних циліндрів;
- підсистема водовідділення;
- підсистема конденсації;
- підсистема подачі пари.

Після створення контекстної діаграми та моделі складу необхідна декомпозиція системи та підсистеми для конкретизації та встановлення основних причинно-наслідкових зв'язків (рисунок 6.3 та рисунок 6.4).



Рисунок 6.3 – Декомпозиція системи сушіння паперового полотна

У результаті досліджень підсистеми сушіння паперового полотна виявлено, що у першу та другу групи сушильних циліндрів подається насичена пара з головного трубопроводу, а у третю охолоджуючу групу – вторинна, яка і впливає найбільшим чином на регулювання основного вихідного параметру

(вологості паперового полотна). Тому для побудови та синтезу САУ доцільно зазначити, що регулювання вологості паперового полотна здійснюється каскадно, але для моделювання обрано внутрішній контур.

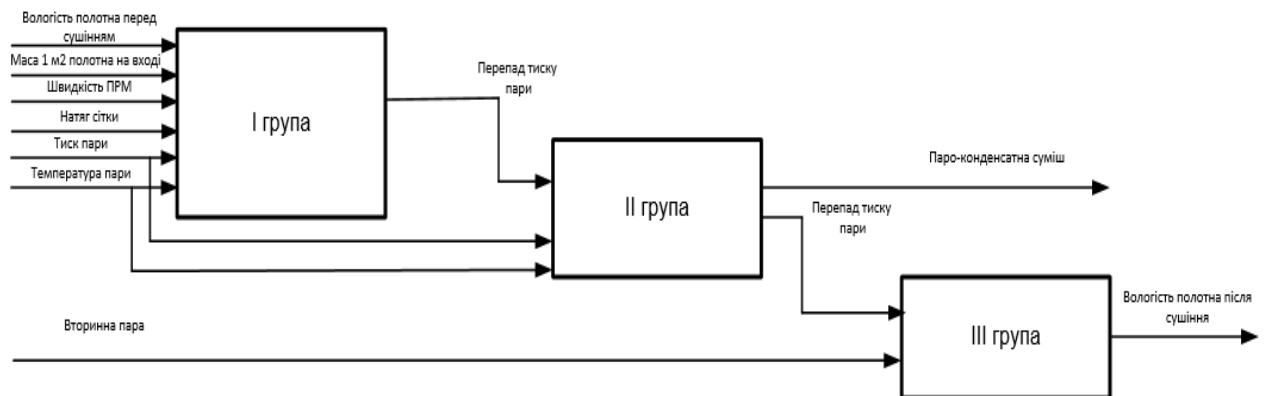


Рисунок 6.4 – Декомпозиція підсистеми сушильних циліндрів

Внутрішній контур складається з третьої групи циліндрів, датчика тиску (вимірює тиск, який подається на цю групу) та виконавчого механізму (клапану з приводом). Структурна схема внутрішнього контуру САУ вологості паперового полотна зображено на рисунку 6.5.

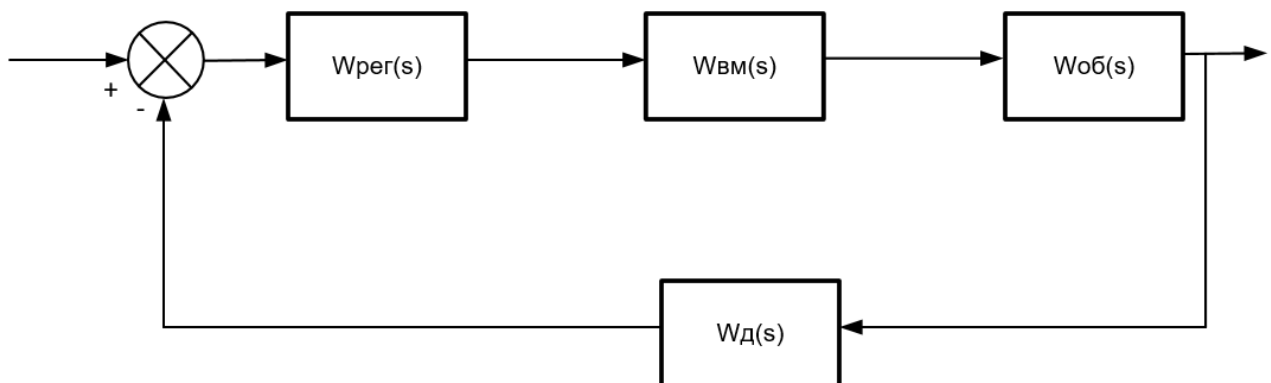


Рисунок 6.5 – Структурна схема внутрішнього контуру САУ вологості

Передавальні функції, зображені на малюнку:

- $W_{per}(s)$ – передавальна функція регулятора;
- $W_{BM}(s)$ – передавальна функція виконавчого механізму;

- $W_{об}(s)$ – передавальна функція об'єкта регулювання;
- $W_{д}(s)$ – передавальна функція датчика.

6.1 Аналіз об'єкта регулювання

З довідникової літератури [2] отримано наступні передавальні функції типових об'єктів:

- $W_{вм}(s) = \frac{1}{4s + 1}$;
- $W_{об}(s) = \frac{10}{8s + 1}$;
- $W_{д}(s) = 1$.

Побудуємо структурну схему САУ за допомогою пакету MatLab (рисунок 6.6).

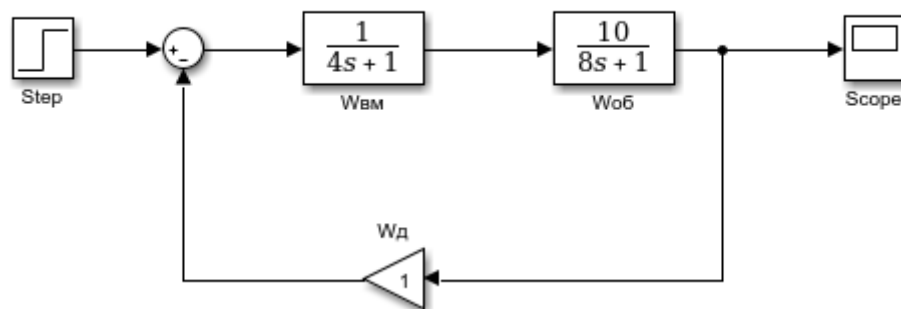


Рисунок 6.6 – Структурну схему САУ в пакеті MatLab

Передавальна функція об'єкта регулювання є аперіодичною ланкою першого порядку. Розглянемо та побудуємо основні її часові характеристики.

Перехідна характеристика ланки - це реакція ланки на одиничний стрибок (рисунок 6.7). Знаходиться за формулою 6.1:

$$h(t) = L^{-1}\left\{\frac{W(s)}{s}\right\}, \quad (6.1)$$

де L^{-1} – оператор зворотного перетворення Лапласа.

Для даного об'єкта маємо:

$$h(t) = L^{-1}\left\{\frac{W(s)}{s}\right\} = L^{-1}\left\{\frac{10}{s(8s+1)}\right\} = 20 e^{\frac{-t}{16}} \sinh\left(\frac{1}{16}t\right)$$

Імпульсна характеристика – це реакція ланки на одиничну імпульсну функцію (рисунок 6.8). Знаходиться за формулою 6.2:

$$\omega(t) = L^{-1} W(s) \quad (6.2)$$

де – оператор зворотного перетворення Лапласа.

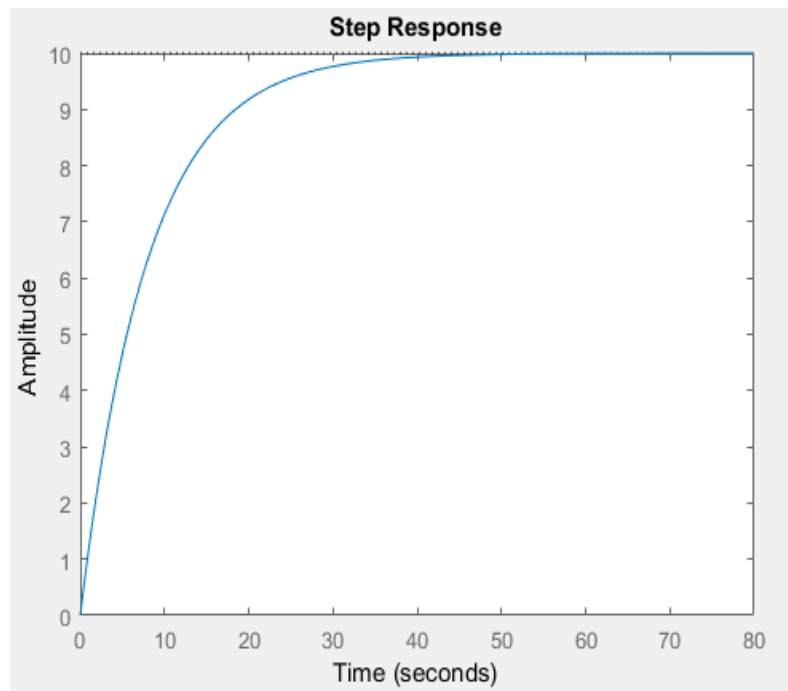


Рисунок 6.7 – Перехідна характеристика об'єкта

Для даного об'єкта:

$$\omega(t) = L^{-1} W(s) = \frac{5}{2} e^{\frac{-t}{8}}$$

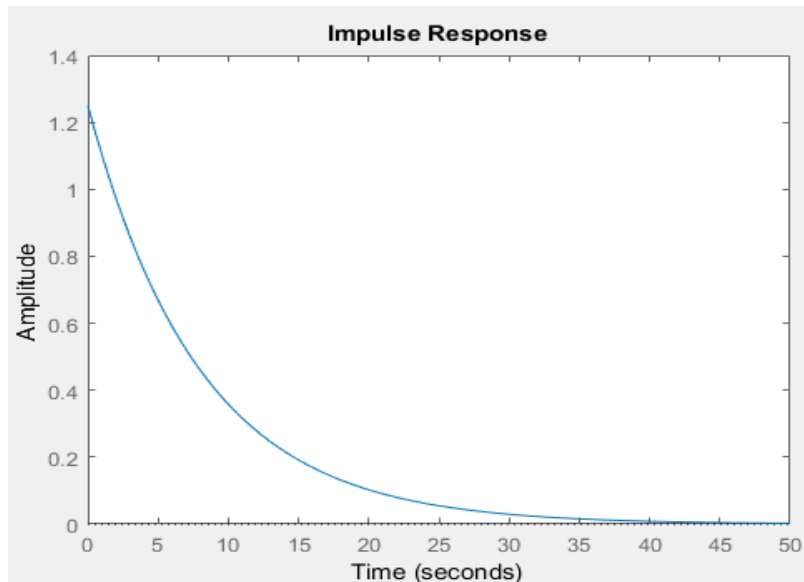


Рисунок 6.8 – Імпульсна характеристика об'єкта

Розглянемо та побудуємо основні її частотні характеристики.

Представимо передатну функцію ланки у вигляді комплексної частотної передатної функції:

$$W(s) = \frac{10}{8s + 1} \Rightarrow W(j\omega) = \frac{10}{8j\omega + 1}$$

Образ $W(j\omega)$ на комплексній площині – це амплітудно-фазо-частотна характеристика ланки (АФЧХ). На рисунку 6.9 представлена АФЧХ об'єкта. Побудуємо логарифмічну характеристику (рисунок 6.10).

Початковий нахил – 0 дБ/дек.

Рівень: $20\lg k = 20\lg 10 = 20$.

Знайдемо спрягаючу частоту розрахуємо за відповідною формулою:

$$\omega = \frac{1}{T} = \frac{1}{8} = 0,125$$

Фазова характеристика: $\varphi(\omega) = -\arctg(T\omega) = -\arctg(0,125\omega)$

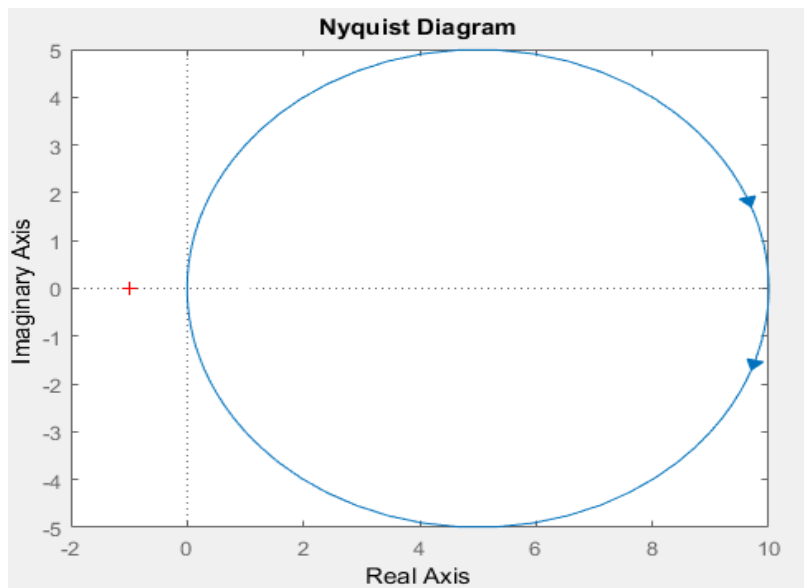


Рисунок 6.9 – АФЧХ об'єкта

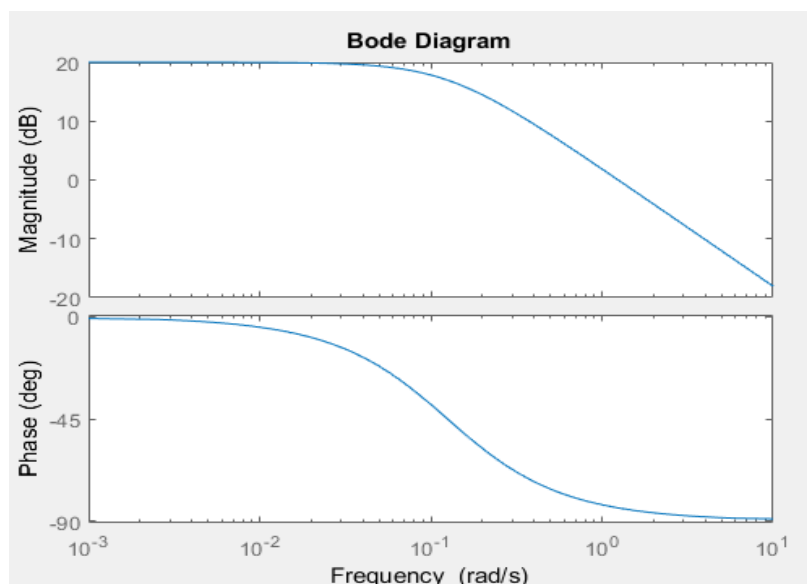


Рисунок 6.10 – Логарифмічна амплітудо-фазо-частотна характеристика об'єкта

Проведемо аналіз стійкості системи. Для достовірності використаємо два методи перевірки: з застосуванням критеріїв Гурвіца та Михайлова.

Знайдемо передавальну функцію замкненої системи.

Передавальна функція розімкненої системи має вигляд:

$$Wp(s) = W_{\text{вв}}(s) * W_{\text{оо}}(s) = \frac{1}{4s+1} * \frac{10}{8s+1} = \frac{10}{32s^2 + 12s + 1}.$$

Визначимо передавальну функцію замкнутої системи:

$$W_s(s) = \frac{W_p(s)}{1 + W_p(s)} = \frac{10}{32s^2 + 12s + 11}.$$

Записуємо характеристичний поліном: $D(s) = 32s^2 + 12s + 11$.

Застосуємо критерій Гурвіца: у даному випадку характеристичне рівняння має другий порядок. Тобто це типовий випадок, а отже необхідною і достатньою є умова, що всі коефіцієнти більше нуля.

$$a_2 = 11 > 0, a_1 = 12 > 0, a_0 = 32 > 0.$$

Отже, система є стійкою.

Виконаємо перевірку, використовуючи третє формулювання критерію Михайлова, де для стійкої системи необхідне чергування нулів уявної та дійсної частин характеристичного комплексу при зростанні частоти.

Характеристичний поліном має вигляд: $D(s) = 32s^2 + 12s + 11$.

Перейдемо до комплексу: $D(j\omega) = 32\omega^2 + 12\omega + 11$.

Виділимо дійсну та уявну частини:

$$U(\omega) = 11 - 32\omega^2,$$

$$V(\omega) = 12\omega.$$

Обчислимо нулі уявної частини: $12\omega = 0 \Rightarrow \omega_1 = 0$;

Обчислимо нулі дійсної частини:

$$U(\omega) = 11 - 32\omega^2 = 0,$$

$$\omega_{3,4} = \sqrt{\frac{11}{32}} = \pm 0,5863.$$

Перевіряємо чергування нулів:

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ω	-0,5863	0	0.5863
$V(\omega)$		Нуль	
$U(\omega)$	Нуль		Нуль

Нулі уявної та дійсної частин чергуються, при цьому, частота збільшується - значить система стійка.

Визначимо основні показники якості нашої системи без регулятора (рисунок 6.11).

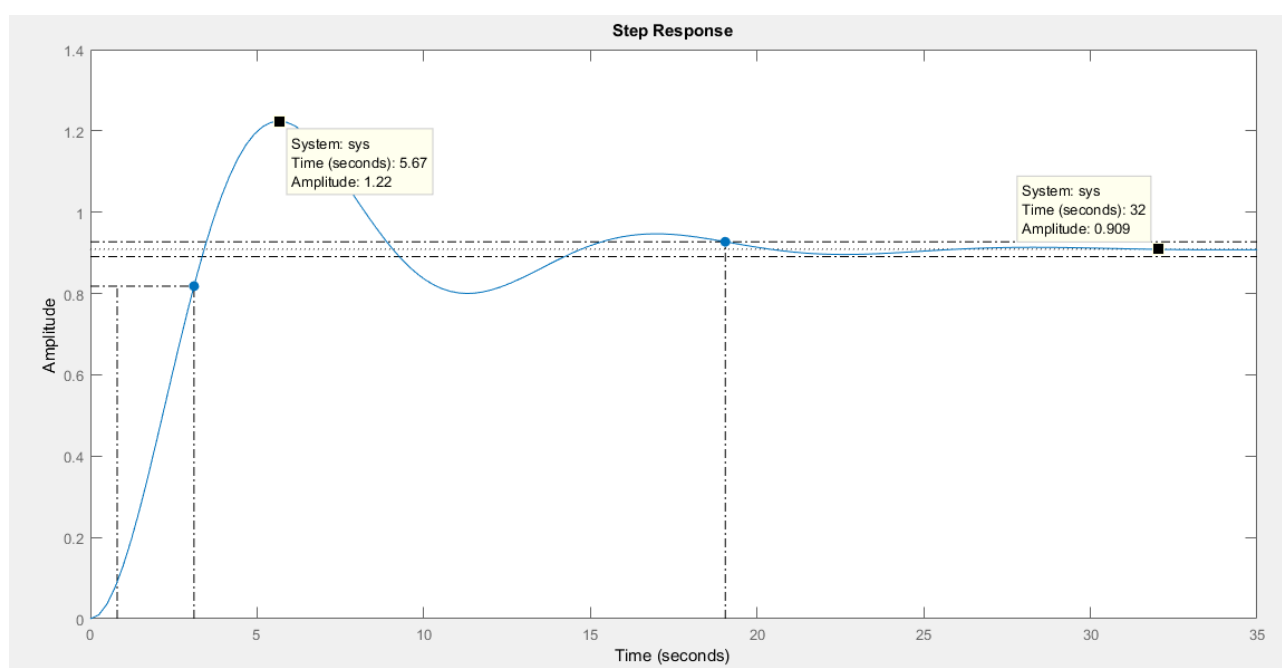


Рисунок 6.11 – Перехідна характеристика системи без регулятора

Отриманий графік демонструє наступні показники якості:

$$h_{\max} = 1.22;$$

$$h_{\text{уст}} = 0.909;$$

$$t_{\text{уст}} = 2.31 \text{ c};$$

$$t_{\text{рег}} = 19 \text{ c};$$

$$\delta = \frac{h_{\max} - h_{\text{cm}}}{h_{\text{cm}}} * 100\% = \frac{0.311}{0.909} * 100\% = 34.2\% \text{ – перерегулювання.}$$

6.3 Синтез САУ

Проведемо синтез САУ, що має на увазі визначення структури системи та параметрів для її регулювання задля забезпечення тих показників якості перехідного процесу, які передбачаються для нормального функціонування.

Замкнута система створюється шляхом послідовного з'єднання регулятора, виконавчого механізму та об'єкта. Оптимальним рішенням для регулювання даної системи є синтез пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора.

За вищенаведеними обчисленнями передавальна функція загального об'єкта регулювання має вигляд:

$$W_{oy}(s) = W_{зм}(s) * W_{об}(s) = \frac{1}{4s+1} * \frac{10}{8s+1} = \frac{10}{32s^2 + 12s + 1}.$$

Передавальна функція ПІД-регулятора в загальному вигляді представлена формулою 6.3:

$$W_{ПІД}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d * s, \quad (6.3)$$

де K_p – коефіцієнт пропорційності,

K_i – коефіцієнт інтегральної частини,

K_d – коефіцієнт диференціальної частини.

Для системи з регулятором знайдемо передавальні функції розімкнутої та замкнутої системи.

$$W_{роз}(s) = W_{ПІД}(s) * W_{oy}(s) = (K_p + \frac{K_i}{s} + K_d * s) * \frac{10}{32s^2 + 12s + 1} = \frac{10K_d s^2 + 10K_p s + 10K_i}{32s^3 + 12s^2 + 1}.$$

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_3(s) = \frac{W_{poz}(s)}{W_{poz}(s) + 1} = \frac{10K_d s^2 + 10K_p s + 10K_i}{32s^3 + (10K_d + 12)s^2 + (10K_p + 1) + 10K_i}.$$

Для того, щоб знайти коефіцієнти ПД-регулятора, необхідно спочатку записати характеристичний поліном замкнутої системи:

$$D(s) = 32s^3 + (10K_d + 12)s^2 + (10K_p + 1) + 10K_i.$$

Метод, який використовується для синтезу, базується на еквівалентності коефіцієнтів вищезазначеного характеристичного поліному та заданих (які мають бути визначеними по заданим кореням) [13].

$$D(s) = s^3 + \left(\frac{5K_d}{16} + \frac{3}{8}\right)s^2 + \left(\frac{5K_p}{16} + \frac{1}{32}\right)s + \frac{5K_i}{16}.$$

Заданий вигляд характеристичного полінома замкнутої системи має вигляд:

$$s^3 + 3\eta * s^2 + 3\eta^2 * s + \eta^3,$$

де η – запас стійкості.

Прирівнявши коефіцієнти вищезазначених поліномів, маємо:

$$\frac{5K_i}{16} = \eta^3 \Rightarrow K_i = \frac{16\eta^3}{5};$$

$$\frac{5K_p}{16} + \frac{1}{32} = 3\eta^2 \Rightarrow K_p = \left(3\eta^2 - \frac{1}{32}\right) * \frac{16}{5};$$

$$\frac{5K_d}{16} + \frac{3}{8} = 3\eta \Rightarrow K_d = \left(3\eta - \frac{3}{8}\right) * \frac{16}{5}.$$

Визначимо коефіцієнти ПД-регулятора при запасі стійкості $\eta = 2$:

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_i = 25.6;$$

$$K_p = 38,3;$$

$$K_d = 18.$$

Побудуємо систему з ПІД-регулятором в пакеті разом з вихідною системою без регулятора (рисунок 6.12) та порівняємо їх перехідні характеристики (рисунок 6.13). Для системи з ПІД-регулятором визначимо якісні показники перехідного процесу (рисунок 6.14).

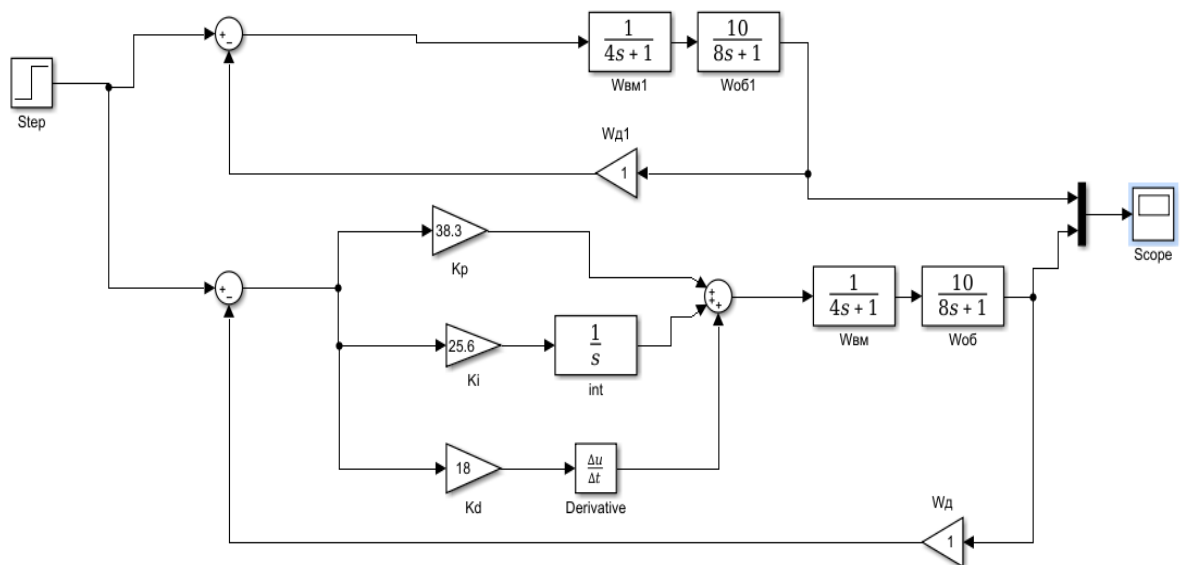


Рисунок 6.12 – Побудова системи з регулятором та без в пакеті Matlab

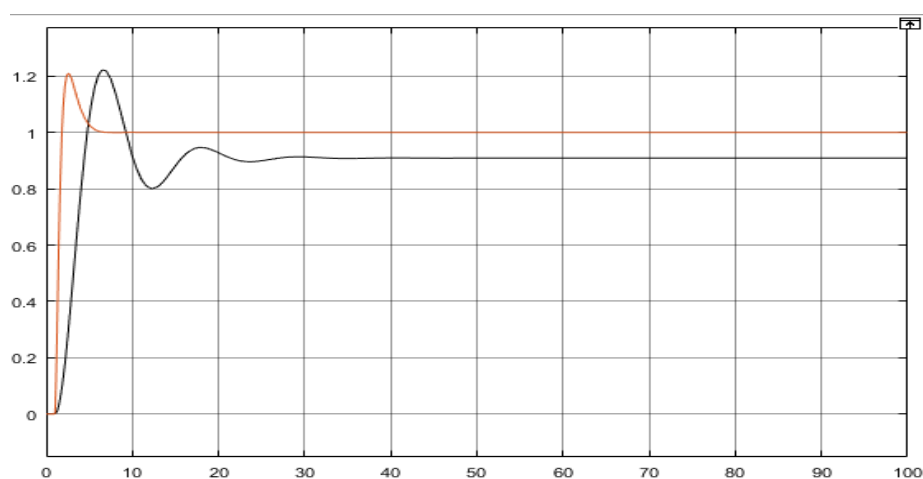


Рисунок 6.13 – Порівняння перехідних характеристик системи з регулятором та без регулятора

Візуально з рисунку 6.13 можна зазначити, що якісні характеристики перехідного процесу для системи з ПД-регулятором значно покращились. Проте щоб упевнитись в цьому, варто детально розглянути перехідну характеристику системи з ПД-регулятором для початку та скласти порівняльну таблицю якісних характеристик перехідних процесів для кожної із систем (таблиця 6.1).

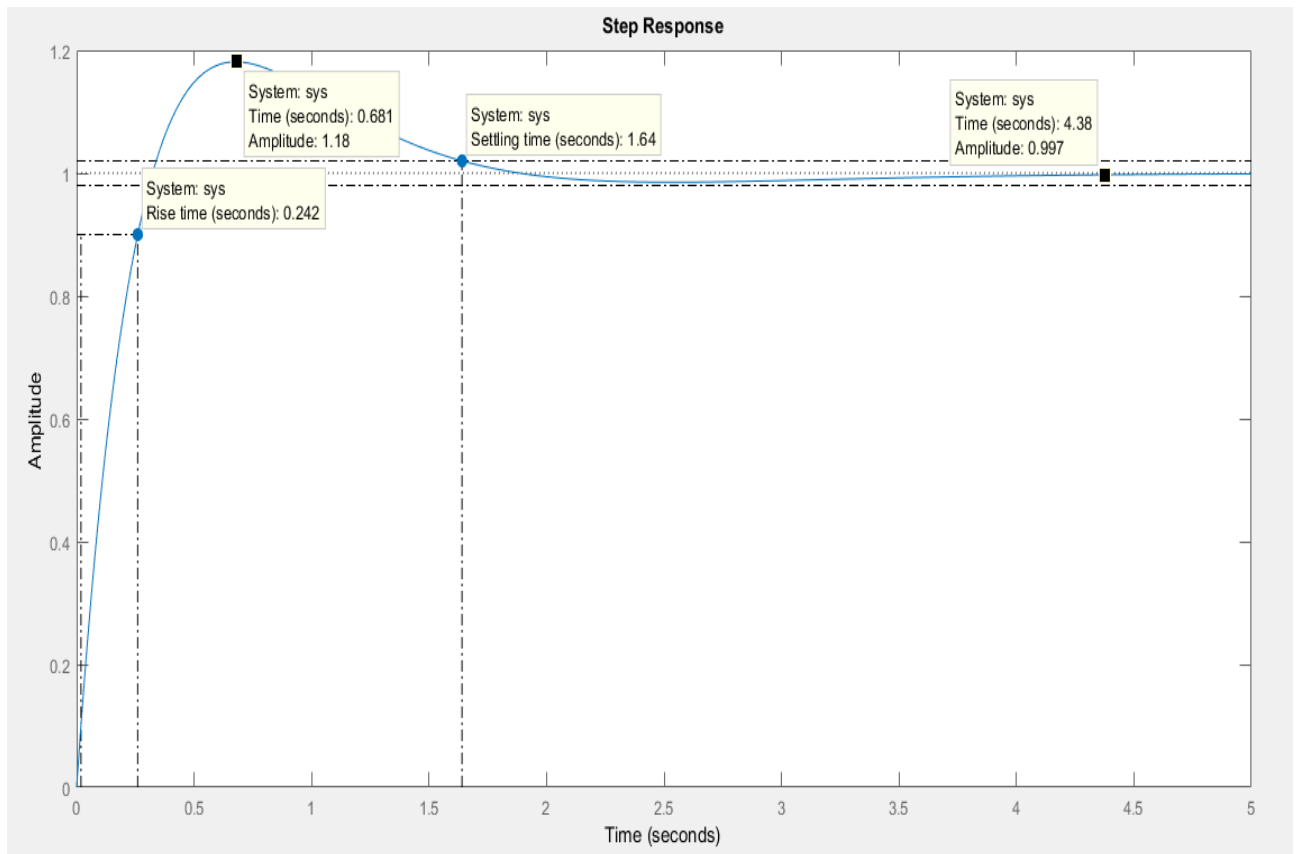


Рисунок 6.14 – Перехідна характеристика системи з ПД-регулятором

Отриманий графік демонструє наступні показники якості:

$$h_{\max} = 1.18;$$

$$h_{\text{уст}} = 1;$$

$$t_{\text{уст}} = 0.242 \text{ с};$$

$$t_{\text{рег}} = 1.64 \text{ с};$$

$$\delta = \frac{h_{\max} - h_{cm}}{h_{cm}} * 100\% = \frac{0.18}{1} * 100\% = 18 \% \text{ – перерегулювання.}$$

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 – Порівняння показників якості перехідних процесів

Показник якості	Система без регулятора	Система з регулятором
h_{\max}	1.22	1.18
$h_{\text{уст}}$	0,909	1
$t_{\text{уст}}$	2.31	0.242
$t_{\text{рег}}$	19	1.64
δ	34.2	18

Очевидно, що всі показники якості значно покращилися і задовольняють технічним характеристикам системи. Покращене регулювання контуру вологості паперового полотна забезпечить на виході папір зазначеної та рівномірної вологості з оптимальними витратами пари для досягнення цього результату.

ВИСНОВКИ

У відповідності до завдання на дипломний проект була розроблена автоматизована система управління виробництвом паперу, параметри якої повністю задовольняють поставленим вимогам.

Система дає можливість узгоджено управляти устаткуванням технологічних ділянок виготовлення паперу від розпуску сухих напівфабрикатів до отримання готової продукції, а також контролювати її якість упродовж виробничого циклу.

У даному проекті розроблена структурна схема технологічного процесу виробництва паперу та структурна схема управління системою в цілому. Особливу увагу звернено на найбільшу за розміром та надзвичайно важливу для кінцевої якості продукту ділянку – сушіння паперового полотна.

Для підсистеми управління ділянкою паперового полотна розроблено структурну та функціональну схеми, а також підібрано та обгрунтовано основні елементи. Проведено синтез ПД-регулятора внутрішнього контуру управління вологістю паперового полотна для покращення характеристик кінцевого продукту.

Розроблена система є гнучкою та передбачає можливість збільшення кількості підсистем управління або ж розширення функціоналу існуючих шляхом підключення нових елементів.

					IA51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.С. Смірнов От ёлки до газеты – Москва: Союз, 1962.-280с.
2. Целюлозно паперова промисловість [Електронний ресурс] : Режим доступу: <http://base.safework.ru/iloenc>, іл.
3. Технология бумаги [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://studizba.com/lectures/107-himija/1439-tehnologija-bumagi/>
4. А.М. Гуров, С.М. Починкин Автоматизация технологических процессов – Москва: Высшая школа, 1979.-360с.
5. Т.П. Щербакова, Н.Ф. Пестова Оборудывание предприятий целюлозно-бумажного производства – Сыктывкар: СЛИ, 2013.-70с.
6. А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов, М.О. Подустов, О.В. Пугановський Промислові засоби автоматизації – Харків: НТУ «ХПІ», 2001.-272с.
7. В.Н. Суриков, Г.П. Буйлов Автоматизация технологических процессов и производств – Санкт-Петербург: СПб, 2017.-92с.
8. Д.М. Фляте Технология бумаги – Москва: Высшая школа, 1988.-253с.
9. Як виробляють папір? [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://print-info.ru/articles/kak-delayut-bumagu.html>
10. Рішення по автоматизації для целюлозно паперової та деревообробної промисловості [Електронний ресурс] : Режим доступу: <http://mt-r.ru/otrasli/resheniya-po-avtomatizatsii-dlya-tsellyulozno-bumazhnoy-i-derevoobrabatyvayushchey-promyshlennosti/>
11. Гідравлічний натискний ящик компанії Parcel [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://www.parcel.ru/UserFiles/File/eshop/11685>
12. Н.Б. Репнікова Теорія автоматичного керування: класика і сучасність – Київ: НТУУ «КПІ», 2011.-
13. В.І. Корнієнко, О.У Гусєв, О.В. Герасіна, В.П. Щокін Теорія систем керування – Дніпро: НГУ, 2017.-45-49с.

					ІА51.150БАК.005 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. В.К. Савицький, Р. М. Федоришин Технічні засоби автоматизації – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018.-185с.
15. В.Г. Шаруда, В.В. Ткачов, М.П. Фількін Методи аналізу і синтезу систем автоматичного керування – Дніпро: Нац.гірнич.ун-т, 2008.-52с.
16. Методологія функціонального моделювання SADT [Електронний ресурс] : Режим доступу: <http://samara.mgpu.ru/~dzhadzha/dis/15>
17. Модель складу системи [Електронний ресурс] : Режим доступу: <http://www.market-journal.com/sistemnyjanaliz/5.html>
18. Компанія «Сапфір» [Електронний ресурс] : Режим доступу: <http://pp66.ru/katalog/pribor1/preobrazovateli/sapfir/>
19. Інфрачервоний датчик вологості і маси паперового полотна А331 [Електронний ресурс] : Режим доступу: <http://www.aquar-system.ru/catalog/intellektualnye-datchiki/infrakrasnyy-datchik-vlazhn-i-massy-bum-kart-polotna-a-327-can/>
20. Датчики гидростатического давления (уровня) Метран-150L [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://docplayer.ru/32285001-Datchiki-gidrostaticheskogo-davleniya-urovnya-metran-150l.html>